



UNIVERSIDADE DO MINHO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**

Metodologia para a Concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto

Anabela Carvalho Alves

Dissertação de Mestrado
1999

Metodologia para a Concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto

Anabela Carvalho Alves

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos para a obtenção do grau de
Mestre em Produção Integrada por Computador

Orientação científica de
Professor Sílvio do Carmo Silva

Universidade do Minho
Dezembro de 1999

Orientador científico:
Dr. Sílvio do Carmo Silva
Professor Associado
Departamento de Produção e Sistemas
Escola de Engenharia
Universidade do Minho

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, principalmente ao Professor Carmo Silva pela orientação e supervisão. Gostaria também de agradecer de uma forma especial à minha família, em particular à minha filha e ao meu marido, pela paciência, compreensão e apoio durante a realização do trabalho.

Por último mas não menos importante vai um agradecimento à Laurentina pela ajuda na obtenção dos dados industriais, aos meus colegas pelas conversas construtivas que de alguma forma beneficiaram este trabalho e ao Departamento de Produção e Sistemas pela disponibilidade dos meios.

SUMÁRIO

Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) são sistemas de produção desenvolvidos para a produção de um único produto ou de uma família, mais ou menos restrita, de produtos com semelhanças entre si, principalmente de natureza processual (Silva, 1997).

Neste trabalho é proposta uma metodologia para a concepção de SPOP.

A metodologia está dividida em três fases: Projecto Genérico, Projecto Conceptual e Projecto Detalhado. Cada fase divide-se, ainda, em duas ou mais actividades dependendo da fase em questão.

O desenvolvimento de cada fase envolve o uso de informação necessária à concretização da fase, a especificação de factores de controlo que, restringem a tomada de decisão ou definição de alternativas em cada fase, a identificação de ferramentas e métodos necessários e a obtenção de resultados.

Os resultados ou saídas de uma fase alimentam as fases seguintes, podendo também realimentar fases anteriores. Define-se assim um processo de projecto iterativo até à obtenção de configurações detalhadas de SPOP, associadas e adequadas à fabricação de distintos artigos ou diferentes famílias de artigos processualmente semelhantes.

Como resultado principal do Projecto Genérico realça-se a definição de uma estratégia de produção e a identificação do tipo genérico de sistema de produção que assegure a satisfação dessa estratégia, i.e. SPOP ou Sistema de Produção Orientado à Função. Em muitos casos, tal sistema poderá ser do tipo SPOP. Neste caso as fases seguintes deverão ser aplicadas.

O Projecto Conceptual contribui para a identificação da configuração conceptual do sistema do tipo de SPOP que idealmente deveria ser uma linha de produção.

O Projecto Detalhado, instancia a configuração conceptual. Claramente objectiva a necessidade de detalhar a configuração do SPOP seleccionando os artigos e equipamento, afectando trabalho e definindo postos de produção e a implantação física ou virtual do sistema .

No sentido de exemplificar a aplicação da metodologia utiliza-se um caso industrial. Não sendo o caso, naturalmente, suficientemente representativo do espectro industrial onde a metodologia pode ser aplicada, não deixa de proporcionar uma experiência útil na implementação e teste da metodologia.

SUMMARY

According to Silva and Alves (1997) Product Oriented Manufacturing Systems (POMS) are manufacturing systems designed for the manufacture of a single type of product or a family of similar products, mainly as far as manufacturing process is concerned.

In this work a methodology is proposed for the design of POMS.

This methodology comprehends three phases: Generic Design, Conceptual Design and Detailed Design. Each phase is still divided in two or more activities depending on the phase.

Each phase is fully carried out on the basis of a variety of inputs, i.e. information about products, processes and production factors. Moreover, the set of restrictions to decision and system alternatives is specified and possible tools and methods to carry out design and evaluating alternatives solutions are identified. Finally the application of tools on inputs and based on restrictions will generate the output of the design phase.

The output of one design phase feeds the following phases and may be feedback to previous phases, defining an iterative design process leading to detailed configurations of POMS. Each of these, are associated with and oriented to the production of a particular type of product or part or a family of similar processing products or parts.

The main outputs from the Generic Design is the production strategy and decision about what type of generic manufacturing system to adopt, i. e. Function Oriented Manufacturing System or POMS. If the latter is adopted the following phases of the methodology shall be carried out. Otherwise the design process of POMS systems stops.

The Conceptual Design allows the definition of the POMS conceptual configuration, ideally a manufacturing flow line.

In the Detailed Design phase an instance of the conceptual configuration is obtained where products, manufacturing means and processing tasks are put together in a clear and organized way physical or virtually, forming a set of interrelated workstations, i.e. the manufacturing system to perform production.

An example of application of the methodology in practice is given through an industrial case. Although the case may not represent the full spectrum of industrial reality, where the methodology could be applied, the example based on it is useful for reinforcing the understanding and for partially testing the methodology in practice.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. CONFIGURAÇÕES GENÉRICAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO	3
2.1. SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS À FUNÇÃO	4
2.2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO	4
2.2.1. <i>Linhas de Produção</i>	5
2.2.2. <i>Sistemas de Produção Celulares</i>	6
2.2.2.1. Benefícios	8
2.2.2.2. Razões de adopção	12
3. REVISÃO DE METODOLOGIAS PARA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO	20
4. METODOLOGIA PARA A CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO	32
4.1. INTRODUÇÃO	32
4.2. A FERRAMENTA DE MODELAÇÃO IDEF	34
4.3. FASES NA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO	39
4.3.1. <i>Projecto Genérico (A1)</i>	41
4.3.1.1. Planeamento estratégico da produção (A11)	42
4.3.1.2. Análise da situação actual (A12)	44
4.3.1.3. Identificação do tipo de sistema de produção (A13)	45
4.3.2. <i>Projecto Conceptual (A2)</i>	47
4.3.2.1. Selecção da configuração conceptual (A21)	47
4.3.2.2. Estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)	48
4.3.3. <i>Projecto Detalhado (A3)</i>	49
4.3.3.1. Selecção de artigos (A31)	50
4.3.3.2. Selecção de equipamento (A32)	51
4.3.3.3. Formação de postos de trabalho (A33)	51
4.3.3.4. Implantação intracelular (A34)	52
4.3.3.5. Implantação intercelular (A35)	53
4.3.4. <i>Considerações adicionais sobre a metodologia</i>	54
5. PROJECTO GENÉRICO (A1)	55
5.1. PLANEAMENTO ESTRATÉGICO DA PRODUÇÃO (A11)	57
5.1.1. <i>Entradas ao planeamento estratégico da produção (A11)</i>	58
5.1.2. <i>Restrições ao planeamento estratégico da produção (A11)</i>	63
5.1.3. <i>Mecanismos para o planeamento estratégico (A11)</i>	66
5.1.4. <i>Saídas do planeamento estratégico da produção (A11)</i>	70
5.2. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL (A12)	78
5.2.1. <i>Entradas à análise da situação actual (A12)</i>	78
5.2.2. <i>Mecanismos para análise da situação actual (A12)</i>	83
5.2.3. <i>Saídas da análise da situação actual (A12)</i>	83
5.3. IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO (A13)	90
5.3.1. <i>Entradas à identificação do tipo de sistema de produção (A13)</i>	91
5.3.2. <i>Restrições à identificação do tipo de sistema de produção (A13)</i>	92
5.3.3. <i>Mecanismos para a identificação do tipo de sistema (A13)</i>	98
5.3.4. <i>Saídas da identificação do tipo de sistema (A13)</i>	103
6. PROJECTO CONCEPTUAL (A2)	105
6.1. SELECÇÃO DA CONFIGURAÇÃO CONCEPTUAL (A21)	106
6.1.1. <i>Entradas à selecção da configuração conceptual (A21)</i>	108
6.1.2. <i>Restrições à selecção da configuração conceptual (A21)</i>	121
6.1.3. <i>Mecanismos para selecção da configuração conceptual (A21)</i>	128
6.1.4. <i>Saídas da selecção da configuração conceptual (A21)</i>	132
6.2. ESTABELECIMENTO DE PARÂMETROS OPERATÓRIOS (A22)	133
6.2.1. <i>Entradas ao estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)</i>	133
6.2.2. <i>Restrições ao estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)</i>	134
6.2.3. <i>Mecanismos para estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)</i>	135
6.2.4. <i>Saídas do estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)</i>	136

7. PROJECTO DETALHADO (A3).....	140
7.1. SELECÇÃO DE ARTIGOS (A31)	143
7.1.1. Entradas à selecção de artigos (A31)	144
7.1.2. Restrições à selecção de artigos (A31).....	145
7.1.3. Mecanismos para selecção de artigos (A31).....	146
7.1.4. Saídas da selecção dos artigos (A31).....	167
7.2. SELECÇÃO DE EQUIPAMENTO (A32).....	168
7.2.1. Entradas à selecção de equipamento (A32).....	168
7.2.2. Restrições à selecção de equipamento (A32).....	169
7.2.3. Mecanismos para a selecção de equipamento (A32).....	169
7.2.4. Saídas da selecção de equipamento (A32).....	171
7.3. FORMAÇÃO DE POSTOS DE TRABALHO (A33).....	171
7.3.1. Entradas à formação de postos de trabalho (A33).....	173
7.3.2. Restrições à formação de postos de trabalho (A33).....	173
7.3.3. Mecanismos para a formação de postos de trabalho (A33).....	174
7.3.4. Saídas da formação de postos de trabalho (A33)	177
7.4. IMPLANTAÇÃO INTRACELULAR (A34)	178
7.4.1. Entradas à implantação intracelular (A34).....	183
7.4.2. Restrições à implantação intracelular (A34).....	183
7.4.3. Mecanismos para implantação intracelular (A34).....	184
7.4.4. Saídas da implantação intracelular (A34)	185
7.5. IMPLANTAÇÃO INTERCELULAR (A35).....	186
7.5.1. Entradas à implantação intercelular (A35)	187
7.5.2. Restrições à implantação intercelular (A35).....	188
7.5.3. Mecanismos para a implantação intercelular (A35).....	188
7.5.4. Saídas da implantação intercelular (A35).....	189
8. APLICAÇÃO A UM CASO INDUSTRIAL.....	191
8.1. A EMPRESA	191
8.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	193
8.2.1. Projecto Genérico.....	193
8.2.1.1. Planeamento estratégico da produção	193
8.2.1.2. Análise da situação actual.....	195
8.2.1.3. Identificação do tipo de sistema de produção.....	201
8.2.2. Projecto Conceptual.....	203
8.2.2.1. Selecção da configuração conceptual	203
8.2.2.2. Estabelecimento de parâmetros operatórios	205
8.2.3. Projecto Detalhado.....	208
8.2.3.1. Selecção de artigos	209
8.2.3.2. Selecção de equipamento.....	213
8.2.3.3. Formação de postos de trabalho	216
8.2.3.4. Implantação Intracelular	217
8.2.3.5. Implantação Intercelular	217
8.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CASO INDUSTRIAL.....	219
9. CONCLUSÕES	220
BIBLIOGRAFIA	222
ANEXOS	231

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ÁREA DE APLICAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES GENÉRICAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	5
FIGURA 2. RELAÇÃO CUSTO DE PRODUÇÃO/UNIDADE E VARIEDADE DE ARTIGOS A PRODUZIR PARA AS CONFIGURAÇÕES GENÉRICAS.....	5
FIGURA 3. FLUXOS DE TRABALHO (ADAPTADA DE ANEKE, 1986).....	7
FIGURA 4. DECOMPOSIÇÃO DO IDEF	35
FIGURA 5. DIAGRAMA IDEF ₀	37
FIGURA 6. DIAGRAMA CONTEXTUAL PARA A CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO ORIENTADO AO PRODUTO (NÍVEL A-0)	39
FIGURA 7. REPRESENTAÇÃO EM ÁRVORE DAS FASES E ACTIVIDADES DA METODOLOGIA.....	40
FIGURA 8. DIAGRAMA DE NÍVEL ELEVADO DA METODOLOGIA PARA A CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO ORIENTADO AO PRODUTO (NÍVEL A0)	41
FIGURA 9. DIAGRAMA IDEF ₀ PARA O PROJECTO GENÉRICO (NÍVEL A1).....	56
FIGURA 10. EXEMPLO DE UMA ANÁLISE SWOT (ADAPTADO DE NYMAN, 1992)	67
FIGURA 11. MATRIZES DE <i>QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT</i> (NYMAN, 1992).....	69
FIGURA 12. PONTO DE COLOCAÇÃO DA ENCOMENDA (ADAPTADO DE HIGGINS, 1996)	77
FIGURA 13. ESTRUTURA DO PRODUTO PF	79
FIGURA 14. FORMATO DA FÁBRICA TIPO A	86
FIGURA 15. FORMATO DA FÁBRICA DO TIPO V	87
FIGURA 16. FORMATO DA FÁBRICA DO TIPO T.....	88
FIGURA 17. FORMATO DA FÁBRICA TIPO L.....	89
FIGURA 18. PROCESSO DE SELECÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	90
FIGURA 19. DIAGRAMA IDEF ₀ PARA O PROJECTO CONCEPTUAL (NÍVEL A2)	105
FIGURA 20. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DEDICADA	109
FIGURA 21. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS CÉLULAS DE TECNOLOGIA DE GRUPO.....	110
FIGURA 22. APLICABILIDADE DE SISTEMAS DE FABRICAÇÃO FLEXÍVEL (SILVA, 1997A)	111
FIGURA 23. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE CONFIGURAÇÕES DE SISTEMAS DE FLUXO DE TRABALHO EM SFF A) EM LINHAS, B) EM CÉLULAS (SILVA, 1997)	112
FIGURA 24. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE CÉLULA POR PROJECTO.....	113
FIGURA 25. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE DUAS CÉLULAS VIRTUAIS NUM SISTEMA FUNCIONAL.....	113
FIGURA 26. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE CÉLULAS HÍBRIDAS.....	115
FIGURA 27. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS CÉLULAS VIRTUAIS HÍBRIDAS	116
FIGURA 28. IMPLANTAÇÃO EM U TÍPICA DE UMA CÉLULA JIT.....	118
FIGURA 29. CRITÉRIOS E AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS VÁRIAS CONFIGURAÇÕES (ADAPTADO DE SILVA E ALVES, 1997)	129
FIGURA 30. DIAGRAMA IDEF ₀ PARA O PROJECTO DETALHADO (NÍVEL A3)	142
FIGURA 31. PEÇAS COM FORMA IDÊNTICA E PROCESSOS DE FABRICO DIFERENTES (REMBOLD ET AL., 1985)	143
FIGURA 32. ALGORITMO DO CÓDIGO SICGE (BURBIDGE, 1996)	150
FIGURA 33. MATRIZ DE CÓDIGOS DE POSSIBILIDADES DE PROCESSAMENTO PARA O TORNO REPRESENTADO (TEICHOLZ, 1987).....	153
FIGURA 34. EXEMPLO DE UM DENDOGRAMA	154
FIGURA 35. EXEMPLO DE UMA MATRIZ DE PEÇAS POR MÁQUINAS	155
FIGURA 36. EXEMPLO DE UM GRAFO BIPARTIDO.....	156
FIGURA 37. EXEMPLO DE UM GRAFO FRONTEIRA.....	157
FIGURA 38. OBTENÇÃO DE DOIS SUBGRAFOS A PARTIR DO GRAFO DA FIGURA 37	157
FIGURA 39. EXEMPLO DE UMA CURVA ABC (COURTOIS, 1996)	166
FIGURA 40. PLANEAMENTO SISTEMÁTICO DE IMPLANTAÇÕES (ADAPTADO DE MUTHER, 1973).....	180
FIGURA 41. TIPOS DE IMPLANTAÇÕES E SISTEMAS DE MANUSEAMENTO MATERIAIS INTRACELULARES (ADAPTADA DE ARVINDH E IRANI, 1994)	182
FIGURA 42. TIPOS DE IMPLANTAÇÕES E SISTEMAS DE MANUSEAMENTO INTERCELULARES (ADAPTADA DE ARVINDH E IRANI, 1994)	187

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO (ADAPTADO DE SILVA, 1997A).....	3
TABELA 2. ECONOMIA <i>PUSH</i> VERSUS ECONOMIA <i>PULL</i>	15
TABELA 3. NÚMERO DE CÉLULAS NECESSÁRIAS PARA COMPLETAR A PRODUÇÃO VS. PROPORÇÃO DEDICADA À PRODUÇÃO CELULAR.....	30
TABELA 4. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS À FUNÇÃO E ORIENTADOS AO PRODUTO.....	46
TABELA 5. EXEMPLOS DE FACTORES CRÍTICOS DE SUCESSO	60
TABELA 6. CARACTERÍSTICAS DA ESTRATÉGIA DA RESPOSTA À PROCURA.....	76
TABELA 7. CLASSIFICAÇÃO DE DADOS DE PEÇAS (ADAPTADO DE SILVA, 1988)	79
TABELA 8. DADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DOS PRODUTOS E PEÇAS	80
TABELA 9. APLICABILIDADE DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO SEGUNDO A ERP	93
TABELA 10. APLICABILIDADE DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO SEGUNDO A ESTRUTURA DO MERCADO	95
TABELA 11. RELAÇÃO QUANTIDADE / VARIEDADE DOS PRODUTOS.....	96
TABELA 12. APLICABILIDADE DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO SEGUNDO O TIPO DE FÁBRICA.....	98
TABELA 13. ADEQUABILIDADE DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	104
TABELA 14. ADEQUAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO A DIFERENTES AMBIENTES DE PRODUÇÃO E DE MERCADO (ADAPTADO DE SILVA E ALVES, 1997).....	123
TABELA 15. QUANTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS FACE ÀS CONFIGURAÇÕES	130
TABELA 16. MATRIZ QUE RELACIONA OS FACTORES DE AVALIAÇÃO COM AS CONFIGURAÇÕES.....	131
TABELA 17. EXEMPLO DE CÁLCULO DE CAPACIDADE.....	135
TABELA 18. ÁREA OCUPADA POR SECÇÃO	196
TABELA 19. DESIGNAÇÃO E QUANTIDADE DE MÁQUINAS.....	196
TABELA 20. DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS HUMANOS PELAS FUNÇÕES.....	197
TABELA 21. QUANTIDADES POR FAMÍLIA PARA CADA COLECÇÃO	198
TABELA 22. MATRIZ QUE RELACIONA OS FACTORES DE AVALIAÇÃO COM AS CONFIGURAÇÕES.....	205
TABELA 23. REFERÊNCIAS DA CLASSE A.....	206
TABELA 24. QUANTIDADES POR FAMÍLIA E OUTRAS INFORMAÇÕES PARA AS REFERÊNCIAS PERTENCENTES À CLASSE A	207
TABELA 25. CONSTITUIÇÃO DAS CÉLULAS BASEADA NAS QUANTIDADES A PRODUZIR.....	208
TABELA 26. OPERAÇÕES BASE DAS REFERÊNCIAS	209
TABELA 27. MATRIZ INICIAL REFERÊNCIAS / OPERAÇÕES.....	211
TABELA 28. MATRIZ RESULTANTE.....	212
TABELA 29. IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS PARA BASE DA CONSTITUIÇÃO DAS CÉLULAS.....	214

LISTA DE SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ART	Adaptative Resonance Theory
BOM	Bill Of Material
CAD	Computer Aided Manufacturing
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPP	Computer Aided Process Planning
CH	Célula Híbrida
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CJIT	Célula Just In Time
CN	Controlo Numérico
CNC	Computer Numerical Control
CP	Célula por Projecto
CTG	Célula de Tecnologia de Grupo
CV	Célula Virtual
CVH	Célula Virtual Híbrida
DCA	Direct Clustering Algorithm
EPE	Engenharia Por Encomenda
ERP	Estratégia de Resposta à Procura
FCS	Factores Críticos de Sucesso
FPE	Fabrico Por Encomenda
FPP	Fabrico Por Procura
FPS	Fabrico Para Stock
GQT	Gestão da Qualidade Total
ICAM	Integrated Computer Aided Manufacturing
IDEF	ICAM DEFinition
IDEF ₀	Integration Definition Function Modeling
IRR	Internal Rate of Return
ISO	International Standards Organization
JIT	Just In Time
LFF	Linha de Fabricação Flexível
LPD	Linha de Produção Dedicada
LPDL	Linha de Produção Dedicada ao Lote

LPF	Linha de Produção Flexível
LPM	Linha de Produção repetitiva de artigos Misturados
MPE	Montagem Por Encomenda
MRP	Manufacturing Resources Planning
NP	Não Polinomial
NPV	Net Present Value
PDP	Plano Director de Produção
PE	Plano Estratégico
PFA	Production Flow Analysis
PP	Plano de Produção
QR	Quick Response
ROC	Rank Order Clustering
ROI	Return On Investment
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SLP	Systematic Layout Planning
SPC	Sistema de Produção Celular
SPF	Sistema de Produção Flexível
SPOF	Sistema de Produção Orientado à Função
SPOP	Sistema de Produção Orientado ao Produto
TG	Tecnologia de Grupo
TPM	Total Preventive Maintenance
TPM	Total Productive Maintenance
TQC	Total Quality Control
TQM	Total Quality Management
TSS	Toyota Sewing System

1. INTRODUÇÃO

O ambiente industrial caracteriza-se por uma concorrência muito baseada no prazo e na satisfação das exigências do cliente traduzidas, frequentemente, no requisito de produtos únicos e exclusivos e entregas imediatas ou em prazos muito curtos.

Para atender a estas exigências, torna-se essencial que os sistemas de produção, sejam adequados e capazes de se adaptarem à inovação e mudança do espectro de produtos e permitam a produção rápida para entrega ao cliente de produtos com qualidade e naturalmente, garantindo também vantagem para o produtor, não só económica mas também social e técnica.

Este trabalho estuda os Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) e a forma de os projectar por considerar serem tais sistemas adequados e capazes de satisfazerem, com vantagem, em muitos casos, as necessidades produtivas e requisitos de mercado acima referidos.

Os SPOP são sistemas de produção com a característica principal de serem desenvolvidos para a produção de um único produto ou de uma família, mais ou menos restrita, de produtos com semelhanças principalmente de natureza processual (Silva, 1997).

Antes de qualquer tentativa de implementação, tais sistemas devem ser prévia e cuidadosamente concebidos, desenhados e projectados por forma a se poder catalizar e realizar as possíveis e potenciais vantagens, adequabilidade e capacidades que os SPOP podem oferecer.

Fundamental é, objectiva e metodicamente atender às características dos produtos, da empresa e dos factores de produção, por forma a chegar rapidamente a configurações de SPOP adequadas aos diferentes cenários que se vão apresentando resultantes das necessidades de produção e do ciclo de vida dos produtos e mesmo da qualidade e características dos factores de produção, dos quais merecem destaque os recursos humanos. Assim, é importante a utilização de uma metodologia abrangente, capaz de equacionar a necessidade e o processo de formação de SPOP a diferentes níveis de organização, nomeadamente, estratégico, tático e operacional, isto é, desde a sua concepção à sua implementação. Ora, tal metodologia, parece não existir. Uma aproximação a tal metodologia é apresentada por Burbidge (Burbidge, 1996), que tem a

desvantagem de equacionar apenas um processo de reengenharia, mais ou menos manual, de sistemas funcionais em SPOP, baseado em roteiros de fabrico dos produtos.

Assim, o objectivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para a concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto com as características e para o ambiente de mercado acima referidos.

O desenvolvimento desta metodologia envolve, entre outros aspectos, a definição de fases para o projecto de SPOP equacionando configurações alternativas de SPOP, métodos e mecanismos de apoio à concepção rápida e dinâmica de sistemas de produção, tendo em conta os objectivos empresariais e particularmente os requisitos produtivos e/ou organizacionais da empresa.

A metodologia proposta procura ser uma metodologia sistemática que facilite a concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto tendo como suporte a ferramenta de modelação IDEF₀ - *Integration Definiton for Function Modeling* (FIPSPUB183, 1993). Através da utilização desta ferramenta é possível delinear o processo de projecto de SPOPs expresso nas suas fases, estabelecendo parâmetros de entrada em cada fase e determinando meios como ferramentas, algoritmos, métodos e programas a utilizar em cada uma das fases.

A definição de entradas, isto é, informação e dados relevantes à realização da fase em consideração, o estabelecimento de controlos para atender a restrições existentes ao desenvolvimento de cada fase, a consideração da utilização de ferramentas e a obtenção de resultados, que constituem saídas em cada fase, são elementos estruturantes de um modelo IDEF₀.

Ao caracterizar as fases desta forma pretende-se que o processo de projecto deste tipo de sistema fique facilitado e possa ser adoptado por potenciais utilizadores que servindo-se da metodologia como um guia equacionem os aspectos necessários e importantes ao projecto de Sistemas de Produção Orientados ao Produto.

2. CONFIGURAÇÕES GENÉRICAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

A configuração do sistema de produção é dependente de factores como: o tipo e a quantidade do produto; a natureza do produto, a tecnologia envolvida; o valor unitário do produto; a natureza do mercado em termos de dimensão, maturidade, competitividade e a resposta a este mercado; a forma de produção entre outros. Com tantos factores a influenciar a configuração do sistema podem surgir várias classificações para os sistemas de produção como as apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos Sistemas de Produção (adaptado de Silva, 1997a)

Classificação quanto à:	Tipo de produção ou sistema de produção
Quantidade	Fabricação unitária e pequenas séries Fabricação em série Fabricação em massa
Implantação	Fixa Oficina funcional ou por processo Células de Tecnologia de Grupo Linha, por produto ou de fluxo unidirecional Sistema de Produção Flexível
Modo de satisfação da procura	Para encomenda Para stock – de produtos acabados – de sub-conjuntos de montagem
Natureza dos produtos	Discreta De processo
Natureza do fluxo de materiais	Intermitente ou descontínua Contínua

Apesar dos diferentes tipos de classificações, a classificação quanto à implantação é uma das mais conhecidas e usadas reconhecendo-se que a maior parte dos sistemas de produção têm configurações que se podem enquadrar em arranjos fundamentais, nomeadamente, os sistemas funcionais, os sistemas em linha e as células de produção.

Estes três arranjos podem ainda agrupar-se em apenas duas categorias, atendendo à sua dedicação ou não ao produto. Assim, as linhas e as células de produção podem denominar-se de Sistemas de Produção Orientados ao Produto (Silva, 1997), pela sua dedicação ao produto e os sistemas funcionais podem denominar-se de Sistemas de Produção Orientados à Função.

2.1. SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS À FUNÇÃO

Os Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF) são sistemas caracterizados pela existência de secções funcionais em cada uma das quais se realiza uma função fabril. Este arranjo designa-se por organização ou implantação funcional. Este permite produzir grande variedade de artigos em pequenos lotes ou mesmo fabricação unitária, entendendo-se por artigo uma peça, componente ou produto final.

As características únicas de cada artigo e a elevada variedade de artigos impõe um investimento em equipamentos não especializados, versáteis, que possam levar a cabo todas as operações pertencentes à sequência de cada artigo.

Os lotes fluem intermitentemente pelo sistema de produção de secção funcional em secção funcional. Cada lote diferente requer, normalmente, uma sequência de operações diferente implicando sempre a deslocação dos lotes entre secções e algumas vezes o retrocesso destes a secções por onde já tinham passado. Devido a estas características, surgem dificuldades diversas, entre as quais, complexidade de controlo do fluxo dos materiais, longos e imprevisíveis tempos de em curso de produção e níveis elevados de trabalhos em curso, o que, muitas vezes, torna impossível a entrega dos produtos ao cliente na data prevista.

Uma de várias formas de atenuar estas dificuldades consiste em manter stocks de produtos acabados e em curso de fabrico. Isto tem a desvantagem, neste ambiente de produção, de originar custos muitas vezes incontroláveis para a empresa.

2.2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO

Os Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) são sistemas de produção com a característica principal de serem desenvolvidos para a produção de um único produto ou de uma família, mais ou menos restrita, de produtos com semelhanças entre si, normalmente, de natureza processual (Silva, 1997).

Integram-se na categoria dos SPOP as linhas e as células de produção ou sistemas de produção celulares (SPC). Os SPC podem entender-se como sistemas intermédios entre os SPOF e as linhas pois conjugam a fabricação de variedade, típica dos SPOF, com a de quantidades grandes, típica das linhas, (Figura 1). Os SPC mantêm alguma da flexibilidade dos SPOF retendo benefícios importantes das linhas.

A maioria das configurações de SPOP são sistemas de produção celulares e a aplicação destes relativamente às linhas e aos SPOF é mais abrangente, como se pode ver na Figura 1. Por estas razões os SPC são alvo de maior atenção neste trabalho.

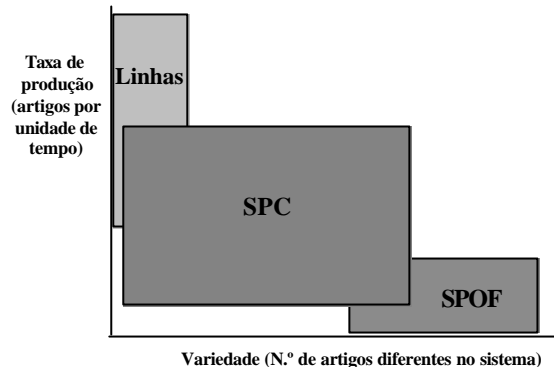


Figura 1. Área de aplicação das configurações genéricas de sistemas de produção

O gráfico da Figura 2 permite ainda verificar a aplicação das configurações genéricas face à variedade de artigos e ao custo de produção por unidade de artigo.

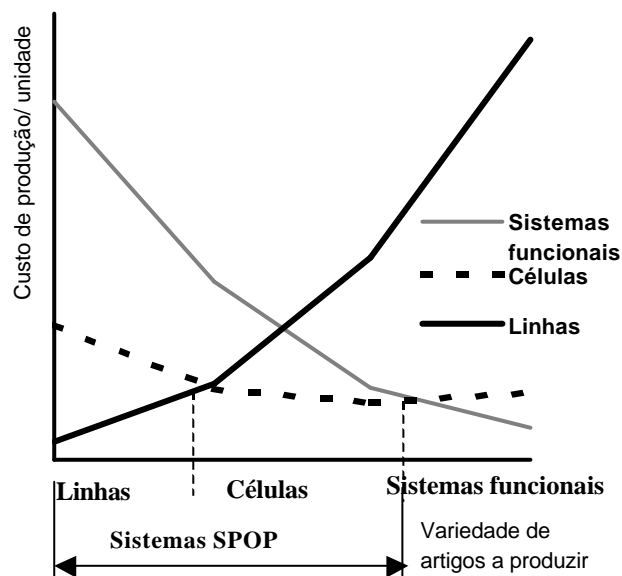


Figura 2. Relação custo de produção/unidade e variedade de artigos a produzir para as configurações genéricas

2.2.1. Linhas de Produção

As linhas de produção são sistemas de produção especializados e dedicados a um artigo ou mistura regular de artigos cujas quantidades de produção justificam o investimento em equipamento totalmente dedicado. Nestas, os postos de trabalho estão organizados

num arranjo por produto, dispostos sequencialmente de acordo com a sequência das operações de transformação do produto.

O fluxo produtivo tem um sentido único, com o artigo a entrar no início da linha e, passando sequencialmente de posto para posto, a sair no fim da linha, já processado. Este tipo de sistema de fabrico é caracterizado por elevada produtividade e elevadas taxas de produção permitindo um custo unitário reduzido. No entanto, não é muito flexível sendo geralmente concebido para a fabricação ou montagem de apenas um determinado artigo ou pequenas variações deste.

A possibilidade de projectar uma linha para uma variedade de artigos existe. Para alcançar este objectivo a linha ou pode ser periodicamente dedicada ao fabrico de um dado lote, - linha de produção dedicada ao lote, LPDL - , caso em que se exige uma preparação da linha sempre que se muda de tipo de lote, ou ser dedicado à produção repetitiva de artigos misturados - linha de produção repetitiva de artigos misturados, LPM - cuja preparação se faz periodicamente, quando a mistura de artigos se altera (Silva, 1997).

Nestes dois casos a linha torna-se mais dispendiosa, havendo maior exigência no projecto incluindo o balanceamento ou equilibragem das linhas. Este balanceamento consiste na distribuição equilibrada do trabalho a cada posto por forma a reduzir as perdas de produção.

2.2.2. Sistemas de Produção Celulares

Os sistemas de produção celulares (SPC) são sistemas de produção constituídos por células onde se agrupam e organizam recursos de produção capazes de produzirem, de forma eficaz e eficiente, uma família de artigos.

Uma família de artigos é um conjunto de artigos que apresentam similaridades que favorecem a sua fabricação conjuntamente. São exemplos de características de similaridade importantes, para este efeito, o processo de fabrico ou montagem, a forma geométrica, as dimensões e ainda a natureza dos materiais (Rembold, 1985). A similaridade entre os artigos origina, sob o ponto de vista operatório, a produção de grandes quantidades por agrupamento dos lotes.

O fluxo na célula, devendo ser preferencialmente procedente e sequencial, pode também ser retrocedente e apresentar-se com transposição de postos de trabalho. Tal situação,

especialmente no que concerne à retrocedência deve ser evitada. A ilustração destes fluxos pode ver-se na Figura 3.

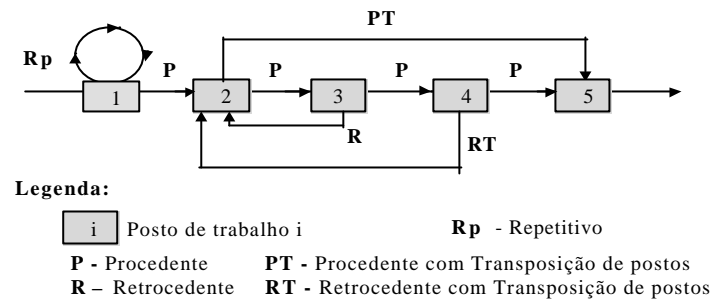


Figura 3. Fluxos de trabalho (adaptada de Aneke, 1986)

A necessidade dos fluxos na célula, ilustrados na Figura 3, deve-se ao facto das seqüências das operações dos artigos a fabricar, de uma mesma família, poderem ser diferentes quer em número de operações quer na ordenação, apesar de requererem os mesmos meios de fabrico.

No entanto, uma célula pode dedicar-se apenas a um artigo, assumindo um fluxo procedente e sequencial sendo difícil, nestes casos, distingui-la de uma linha de produção. Pode, assim, entender-se que uma linha pode ser um caso particular de uma célula.

Os sistemas de produção celulares aparecem, normalmente, associados ao conceito “Group Technology” aqui traduzido por Tecnologia de Grupo. Isto porque como a Tecnologia de Grupo é uma filosofia de organização industrial, a sua aplicação prática nos sistemas de produção é designada por produção celular por vários autores, nomeadamente, Wemmerlöv e Hyer (1989), Singh e Rajamani (1996) e Suresh e Kay (1998).

Segundo Valente (1994), Tecnologia de Grupo foi utilizada inicialmente por Mitrofanov (1959) na Universidade Leninegrado como título para uma intervenção sobre a relação entre a forma de determinado produto ou componente e os respectivos métodos de fabrico, isto é, a tentativa de associar produtos ou componentes de formas semelhantes para serem trabalhados na mesma máquina, de modo a reduzir os tempos de preparação. Mais tarde este conceito evoluiu para um outro que preconizava o agrupamento de máquinas que completamente produzissem um artigo.

Foi na indústria metalomecânica que esta filosofia surgiu devido às características deste tipo de indústria. Esta indústria, normalmente organizada em sistemas funcionais

consegue flexibilidade e variedade mas também tem a desvantagem de ter longos tempos de produção que consequentemente afecta os tempos de entregas. Apresentava ainda uma diversidade de artigos que parecia infinita e que parecia impossibilitar outro tipo de organização (Gallagher, 1973).

A Tecnologia de Grupo veio mostrar que afinal existia diversidade mas não tanta como se pensava sendo possível reduzir essa diversidade através da formação de famílias de artigos. Mas a aplicação da Tecnologia de Grupo numa empresa não se ficou por aqui, tornando-se uma filosofia de organização industrial com princípios aplicáveis nos mais diversos sectores de empresas industriais e de serviços.

A aplicação da Tecnologia de Grupo e dos sistemas de produção celulares traduzem-se em benefícios trazidos à empresa que têm um impacto geral sobre todas as áreas da empresa.

2.2.2.1. Benefícios

A implementação da Tecnologia de Grupo e dos sistemas de produção celulares tem impacto sobre o desempenho da empresa na sua globalidade. Os benefícios gerados pela introdução da TG e dos SPC (Singh, 1996) traduzem-se, principalmente, em termos de:

- Manuseamento de material – A peça é quase ou completamente processada dentro de uma célula, minimizando a distância e assim o tempo de transporte;
- Tempo de produção dos artigos – Dentro da célula com as máquinas mais próximas a produção em pequenos lotes ou em lote unitário é possível obtendo-se o mesmo número de peças em menos tempo;
- Tempo de preparação – Uma vez que as peças similares são agrupadas é possível projectar dispositivos de fixação e ferramentas que podem ser usados por uma variedade de peças, reduzindo-se assim os tempos de preparação;
- Tamanho do lote – A redução dos tempos de preparação e consequente redução dos custos de preparação possibilita a produção económica de pequenos lotes. Esta diminuição do tamanho do lote contribui para a uniformização do fluxo de produção reduzindo o período de intermitência. Esta uniformização é vista como um objectivo da filosofia do Just In Time;
- Trabalho em curso de fabrico – Este reduz-se naturalmente quando o tamanho do lote é reduzido por economias nos tempos de preparação do equipamento;

- Tempo de entrega – A capacidade de uma célula produzir a uma taxa regular e predeterminada sem interferência de outros produtos faz com que os prazos de entrega possam ser mais curtos, mais precisos e mais fiáveis;
- Utilização das máquinas – Devido á redução do tempo de preparação a capacidade útil das máquinas tende a aumentar;
- Trabalho do operador – Afectando mais do que uma máquina a um operador é possível obter melhor utilização dos recursos humanos consubstanciada ainda no enriquecimento, alargamento de tarefas e com consequente melhoria da motivação no trabalho. Quando há polivalência a rotação de tarefas é possível aumentando-se assim a satisfação dos operadores enfatizada pelo envolvimento em todas as fases do fabrico do artigo. Isto é também a base para a Gestão da Qualidade Total;
- Qualidade – As peças fluindo uma a uma ou em pequenos lotes dentro da célula e processadas completamente nesse espaço tornam mais fácil verificar se ocorreram defeitos e repará-los mesmo antes das peças saírem da célula;
- Espaço – Devido à redução do trabalho em curso de fabrico existe mais espaço para adicionar máquinas, meios auxiliares e material de apoio.

A implementação da Tecnologia de Grupo e de sistemas de produção celulares manifestam-se também em outras actividades da empresa. Assim, segundo Nyman (1992) e Singh e Rajamani (1996) manifestam-se no (as):

- Projecto de peças – Ajuda na identificação de peças similares, reduzindo a variedade, promovendo a normalização e diminuindo o número de projectos de peças novas.
- Controlo da Produção – Com a produção afectada a células específicas, o controlo é mais simples.
- Planeamento de Processos – A introdução de sistemas de classificação e codificação possibilita a normalização dos planos de fabrico e a redução do número de planos novos e ainda a sua rápida recuperação e impressão.
- Manutenção – Um programa de manutenção preventiva é essencial uma vez que a avaria de uma máquina pode ser suficiente para parar a produção de uma família de peças. Havendo um número específico de máquinas dedicadas a uma família de peças torna-se mais fácil fazer a sua manutenção podendo os próprios operadores da

célula, com o treino adequado, responsabilizar-se por parte importante desta manutenção.

- Contabilidade Industrial– Considerando cada célula como um centro de custos torna-se mais simples a tarefa de contabilizar os custos por família e fazer uma correcta imputação de custos de produção.
- Compras – Ajuda na definição com mais exactidão das peças a comprar e as quantidades.
- Vendas – Sendo cada célula um centro de trabalho alargado a um produto ou uma família é também um centro de custos e torna-se mais fácil fornecer informação correcta aos clientes em termos de preço e data prevista para entrega.

Verifica-se, assim, que a TG e as SPC influenciam todas as funções numa empresa incluindo algumas tecnologias/filosofias como JIT, Gestão de Qualidade Total (TQM)¹, Manutenção Produtiva Total (TPM)², MRP³, Produção Integrada por Computador (CIM)⁴ que possam estar associadas a estas funções.

Muitos dos princípios da TG são aplicados nessas filosofias, nomeadamente, em JIT, TQM e TPM, tornando-se a TG um pré-requisito, uma filosofia integradora e um elemento central para estas filosofias que procuram a participação, o envolvimento e responsabilização de todas as pessoas na extensão da qualidade e da manutenção a toda a empresa, sendo as células o primeiro ponto de aplicação.

Esta é uma posição defendida por vários autores, por exemplo, Singh e Rajamani (1996) e Suresh e Kay (1998). Já em 1988, Burbidge referia-se à Tecnologia de Grupo de uma forma que mostrava claramente a associação com o sistema de controlo JIT: *“I see Group Technology coupled with just-in time production control as essential for batch and jobbing production companies which want to survive in the future”* (Burbidge, 1996).

Alguns autores, nomeadamente, Black (1991) e Burbidge (1993) consideram que TG pode ser uma rampa de lançamento para a automatização e, posteriormente, a integração e como última consequência a implementação de um sistema CIM.

¹ Total Quality Management

² Total Productive Maintenance

³ Manufacturing Resources Planning

⁴ Computer Integrated Manufacturing

Isto é conseguido através da preparação inicial de células atendidas podendo estas dar lugar a células automatizadas e integradas, sendo este um processo gradual. Outros autores têm uma opinião divergente pois consideram que a introdução de automatização é um precursor das células, nomeadamente, Slomp et al. (1993).

Algumas filosofias como, por exemplo, MRP precisam de algumas modificações de modo a se integrarem com a TG. Por exemplo, Singh e Rajamani (1996) defendem que através da exploração das similaridades nas preparações e operações, oferecidas pela TG, e das necessidades faseadas no tempo do sistema MRP é possível melhorar o planeamento e controlo da produção nos sistemas de produção celulares.

Segundo Suresh e Kay (1998) no contexto da Tecnologia de Grupo e da produção celular tiveram ainda lugar alguns desenvolvimentos importantes como a filosofia *Business Process Reengineering* (BPR) cujos primeiros trabalhos se devem a Hammer (1990) e a Engenharia Concorrente.

A filosofia BPR procura reorganizar as funções típicas de uma empresa como o projecto, o planeamento dos processos, a investigação e desenvolvimento, o marketing, as finanças,..., tradicionalmente organizadas em divisões funcionais, em processos de negócio (BP)⁵. Um processo de negócio pode definir-se como um determinado conjunto estruturado de actividades ordenadas no tempo e no espaço, projectado para satisfazer as necessidades do cliente, reunindo, para isso, equipas multidisciplinares de pessoas e outros recursos. Processos de negócio típicos são, por exemplo, o desenvolvimento de novos produtos e a cadeia de fornecimento (Viswanadham, 1998).

Entre a produção celular e a Engenharia Concorrente também existe um paralelismo básico porque, tal como na produção celular, onde as operações se sobrepõem, isto é, logo que um artigo acabe de ser processado numa máquina pode imediatamente começar na seguinte que lhe está próxima reduzindo assim os tempos de entrega, a Engenharia Concorrente possibilita a redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos através da realização simultânea de actividades como, por exemplo, o projecto do produto e o planeamento de processos tradicionalmente realizadas de uma forma sequencial (Knight, 1998).

⁵ Business Process

Subjacentes aos benefícios e impactos acima referidos estão algumas questões importantes relacionadas com a carga de trabalho de síntese de dados relativamente aos produtos a produzir, processos e recursos a utilizar e a organização de que o projecto de um sistema acarreta. Perante a existência de um sistema de produção, vão ainda ocorrer grandes mudanças na reorganização deste e que vão perturbar significativamente o funcionamento das áreas funcionais e de outros sistemas implantados na empresa.

Adicionalmente a conversão, principalmente, de um sistema funcional num sistema celular, pode implicar efeitos negativos com consequências para o funcionamento do sistema. Suresh (1998) sintetizou a avaliação e a conclusão de resultados de vários modelos de simulação desenvolvidos para avaliar o desempenho do sistema celular face ao sistema funcional que demonstraram o fraco desempenho do primeiro em determinadas situações.

As causas deste facto devem-se, nomeadamente, à partição do sistema em células com filas de espera dedicadas que fazem perder a sinergia de *pooling* (Suresh, 1998), isto é, o efeito de ter apenas uma fila de espera para as várias máquinas podendo as peças dispor dessas máquinas. Supondo, por exemplo, que um *pool* de quatro máquinas idênticas são divididas em dois grupos para formar duas células A e B. Se os artigos são dedicados às células e não é permitido fluxo intercelular irão existir momentos em que as máquinas na célula A estarão paradas e as máquinas da célula B terão filas de espera enormes. O impacto desta partição será o aumento dos tempos de fabrico.

2.2.2.2. Razões de adopção

A adopção de sistemas de produção celulares resulta, em muitos casos, de uma tentativa individualizada do pessoal da produção de verem dissolvidos os problemas de ineficiência, associados por exemplo, a elevadas existências e custos, a má qualidade e incumprimento de prazos.

Apesar disto ser uma boa razão para considerar a adopção de sistemas de produção celulares, no entanto, traduz uma preocupação de curto prazo. Os sistemas de produção celulares devem ser entendidos como fazendo parte de uma solução mais alargada, empreendida pela empresa para melhorar o serviço ao cliente, a posição do mercado e o desempenho financeiro. Esta solução abrangente fornecida pelas sistemas de produção

celulares tem vindo a ser defendida por vários autores, nomeadamente, Black (1991), Nyman (1992) e, mais recentemente, Panizzolo (1998).

“I believe that Linked-Cell Manufacturing Systems are the manufacturing systems of the future” (Black, 1991)

“For the company seeking to improve its competitive position, using cells as building blocks to focused factories is the best way to start on the road to becoming an agile enterprise” (Nyman, 1992)

“The adoption of a production system based on cells was considered to be strategically vital, a winning ploy able to offer fundamental competitive advantages over competitors, in addition to profits and costs.” (Panizzolo, 1998)

Segundo Black (1991) *Linked-Cell Manufacturing System* (L-CMS) é um sistema de produção orientado ao produto composto por células de fabrico e células de montagem que são projectadas para tornar a empresa flexível, isto é, capaz de rapidamente se adaptar às mudanças na procura relativamente à variedade e/ou à quantidade de artigos e de rapidamente introduzir novos artigos no mercado.

Na definição de Nyman (1992) as células são consideradas como os “grupos de trabalho” que produzem os produtos e serviços das *focused factories* e que possibilitam a uma empresa tornar-se uma *agile enterprise*.

O conceito de *focused factory* foi introduzido pela primeira vez por Skinner (1974) que considerava que uma fábrica produziria melhor e tornar-se-ia mais competitiva se limitada e focada numa determinada tarefa, processo ou produto aumentando as competências da empresa nessa tarefa, processo ou produto. A simplicidade, repetição, experiência e homogeneidade de tarefas conduzem à competência. Estes princípios podem ser conseguidos na concepção das células através da sua dedicação a um produto ou família de produtos.

Este conceito foi aplicado na Microsoft instalada na Irlanda, quando a empresa decidiu dedicar-se aos clientes como ponto de focagem, devido ao facto dos produtos desenvolvidos (programas para os computadores) terem diferentes destinos geográficos. Assim formaram quatro *focused factories*: para os clientes de língua inglesa, para a Alemanha, para a França e para o resto da Europa. Cada *focused factory* lida com os clientes do mercado específico, tem fornecedores diferentes e cada uma tem as suas

próprias células completamente equipadas com equipamento de produção e a equipa de trabalho necessária (Schonberger, 1998).

O termo *agile manufacturing* começou a ser usado com a publicação de um relatório do Instituto de Iacocca em 1991 sobre as estratégias das empresas do século XXI⁶ e é diferente de *flexible manufacturing* e *lean manufacturing*, pois apesar de integrar conceitos de flexibilidade e de eliminação de desperdícios, estas duas condições são necessárias mas não suficientes. A integração da organização, das pessoas e da tecnologia define a *agile enterprise* (Kidd, 1994).

O SPC como sistema para assegurar este tipo de organização tem, além das características referidas, a capacidade para responder às necessidades individualizadas dos clientes, possibilitando ainda o menor tempo de resposta aos clientes, a melhor qualidade do produto, o tempo de ciclo mais curto, a reconfiguração, a integração e formação dos trabalhadores e do trabalho em equipa.

Outra razão para adoptar SPC deve-se à situação económica que existe actualmente. Esta mudou substancialmente nas duas últimas décadas, de uma economia *push* passou a existir uma economia *pull* devido à liberalização do comércio e ao aumento da concorrência que fez aumentar a oferta muito além da procura. Robert e Cordeiro (1995) caracterizava estes dois tipos de economia da forma apresentada na Tabela 2 onde a economia *pull* continua a representar a situação económica presentemente.

A economia *push* representava uma época de controlo do mercado pelo produtor que podia agrupar grandes quantidades de consumidores com necessidades idênticas oferecendo-lhes um produto genérico (segmentação). No novo tipo de economia isto não funciona havendo necessidade de identificar grupos cada vez mais pequenos de consumidores com necessidades desiguais e responder-lhes com produtos feitos à medida (fragmentação).

Segundo Robert e Cordeiro (1995) empresas como a Toyota, a BMW, a Sony, a 3M, a Castrol e tantas outras praticam a fragmentação de mercado oferecendo versões diferentes dos seus produtos destinadas a fragmentos do mercado com necessidades próprias.

⁶ 21st Century Manufacturing Enterprise Strategy

Tabela 2. Economia *push* versus economia *pull*

<i>PUSH</i>	<i>PULL</i>
Procura > Oferta	Procura < Oferta
Produtor é que manda	Cliente é que manda
Segmentação de mercado	Fragmentação do mercado
Grande número de clientes com necessidades semelhantes	Pequeno número de clientes com necessidades diferentes
Produtos genéricos	Produtos “à medida”
Preços de utilidade	Preços de prémio
Séries de produção longas	Séries de produção curtas
Fabrico eficiente (produção com baixo custo)	Fabrico flexível “custo eficaz”
Ciclos de produção longos	Ciclos de produção curtos
Lealdade à marca: forte	Lealdade á marca: fraca
Inovação do produto	Inovação do processo
Regras rígidas	Regras flexíveis
Forte e estável	Rápido e ágil

A abordagem da segmentação responde com produtos genéricos que tentam satisfazer grandes grupos de consumidores, estes produtos são facilmente duplicáveis e antes de passar muito tempo transformam-se em mercadorias. A fragmentação do mercado, que pode significar fragmentar em parcelas mais pequenas segmentos iniciais existentes, responde com produtos feitos à medida, cada um deles diferenciado para satisfazer um conjunto singular de requisitos.

A segmentação do mercado conduzindo a produtos genéricos também conduz a preços genéricos em que o produtor que apresentar um preço mais baixo é o que conquista o consumidor uma vez que o produto é semelhante. Com a fragmentação, os produtos feitos à medida também podem ter um “preço à medida” (preços de prémio) pois os consumidores estão dispostos a pagar mais por um produto único e exclusivo.

As séries de produção curtas justificam-se pela quantidade reduzida de diferentes produtos a produzir impostas pela fragmentação de mercado. É claro que as pequenas séries exigem flexibilidade, versatilidade e reconfigurabilidade dos sistemas para possibilitarem a mudança de um produto para outro sem perder eficiência ou aumentar os custos. Para implementar esta versatilidade a inovação dos processos torna-se também necessária por forma a melhor sustentar a inovação dos produtos.

Numa economia *push* existia uma forte lealdade à marca devido à oferta limitada e restrição de escolhas. Com a forte concorrência e mais escolhas de qualidade e inovação, sempre crescente, a lealdade do consumidor está, antes de mais, para consigo próprio. As regras numa economia *pull* passam a ser feitas pelos consumidores e estão constantemente em mudança.

Dois cenários muito diferentes são caracterizados e apenas uma minoria das empresas tem capacidade para sobreviver no cenário da economia *push*. Para sustentar o tipo de economia *pull* torna-se necessário um sistema de produção capaz de realizar as operações necessárias ao produto na qualidade desejada e no tempo desejado e ter flexibilidade para responder a possíveis mudanças que o processo de inovação sugere.

Se o requisito principal para sustentar este tipo de economia fosse a flexibilidade então seria inquestionável a adequação dos sistemas funcionais mas como um outro requisito também importante é a rapidez de resposta exigida pelo cliente então o sistema funcional deixa de ser adequado reunindo o SPC condições para conseguir atingir esses objetivos.

O processo de inovação contínuo na empresa pode constituir outra razão para adoptar o SPC. No Livro Verde sobre a Inovação publicado em 1996 pela comissão da União Europeia (Comissão Europeia, 1996), a inovação é descrita como:

“A inovação é um factor importante da competitividade, a vários níveis:

- a inovação nos processos permite aumentar a produtividade dos factores, aumentando a produção e/ou diminuindo os custos. Permite jogar com os preços e aumentar a qualidade e a fiabilidade dos produtos. A concorrência torna constante esta procura de produtividade: as melhorias sucessivas são a garantia de que se pode continuar a competir. A substituição dos equipamentos acompanha-se cada vez mais de renovações, melhorias nos métodos e na organização(...);*
- a inovação em termos de produtos (ou serviços) permite a diferenciação perante produtos concorrentes, atenuando assim a sensibilidade à concorrência, pelos custos ou pelos preços. Uma maior qualidade e desempenho, melhor serviço, redução do prazo de resposta, funcionalidade e ergonomia mais adequadas, segurança, fiabilidade, etc., são outros tantos elementos que a inovação permite reforçar e que permitem aos clientes exigentes marcar uma diferença. (...);*
- a inovação na organização do trabalho e a valorização dos recursos humanos, bem como a capacidade de antecipação das técnicas, da evolução das necessidades e dos mercados são também a condição necessária para o êxito das outras formas de inovação;...*
- uma vez que o ciclo de vida dos produtos e serviços é cada vez mais curto e que as gerações de tecnologias se sucedem a ritmo acelerado, as empresas são frequentemente colocadas face a uma pressão que as obriga a inovar o mais rapidamente possível. O tempo de acesso ao mercado, bem como a escolha do momento de introdução de um novo produto, tornam-se factores cruciais de concorrência. Por fim, é a difusão das técnicas, dos produtos e serviços novos no conjunto do tecido económico que permite usufruir plenamente dos benefícios em termos de competitividade.”*

A análise deste texto mostra que a inovação é um factor que assume cada vez mais importância na vida das empresas e que quando se fala em inovação não se trata apenas de inovação dos produtos mas também inovação dos processos e da organização do trabalho.

É no contexto da inovação dos processos e da organização do trabalho que a implementação do SPC pode dar um bom contributo porque quer ao nível dos processos quer ao nível de organização do trabalho, são introduzidas melhorias em termos de prazos de entrega, de qualidade e fiabilidade do produto e de valorização dos recursos humanos, elementos referidos como sendo importantes no excerto do Livro Verde apresentado acima.

Relativamente à valorização dos recursos humanos e face ao novo paradigma técnico económico, resultante da economia *pull* e da importância da inovação, também as competências profissionais exigidas aos operadores são diferentes (Dias, 1998), como se enumeram:

- a) capacidade de adaptação a um conceito incerto e em mudança e numa organização flexível,
- b) capacidade para efectuar trabalho variado,
- c) capacidade para tomar decisões e de assumir responsabilidades,
- d) capacidade para trabalhar em grupo e em interacção com os colegas e clientes e
- e) capacidade para a auto aprendizagem

Mas exigir estas competências só faz sentido se o sistema de produção estiver preparado para favorecer estas competências justificando-se mais uma vez a adopção dos SPC, uma vez que favorecem o alargamento e a rotação de tarefas e o enriquecimento do trabalho, traduzindo-se no aumento de competências empresariais e na qualidade do trabalho.

A adopção de SPC por empresas que produzem linhas de produtos muito diversas mostra que a aplicabilidade destes abrange uma grande diversidade de situações como se pode ver através dum estudo realizado por Wemmerlöv e Johnson (1997). Os produtos produzidos em SPC por essas empresas são:

Produtos e componentes eléctrico/electrónicos: motores eléctricos; motores de controlo; aparelhos auditivos; equipamento de teste; dispositivos de medição eléctricos; centros

de carga eléctricos; interruptores de circuito industriais e residenciais e interruptor de circuito de caixa.

Dispositivos de manuseamento de fluidos e de controle de fluxo: bombas; sistemas de bombas; válvulas de controlo; componentes hidráulicos de alta pressão; produtos de borracha de precisão para controlo de fluidos; bombas de gasolina/petróleo e bicos de pulverizadores agrícola e industrial.

Maquinaria e máquinas-ferramentas: maquinaria de empacotamento; equipamento mineiro; equipamento de construção e equipamento de manuseamento de material agrícola.

Produtos e componentes de aquecimento e refrigeradores: componentes de ar condicionado; produtos de controlo de segurança de gás natural e produtos de serviço de gás natural.

Produtos e componentes moldados/fundidos: moldes em zinco e alumínio; fundição centrífuga e produtos de injeção de plástico.

Ferramentas: ferramentas manuais mecânicas para uso profissional e industrial e ferramentas de corte de madeira.

Vedantes: vedantes de óleo.

Motores: motores de ar refrigerado e motores de turbina de gás.

Produtos de transferência de calor: radiadores; refrigeradores de óleo e refrigeradores de óleo de carga.

Rolamentos: cilíndricos e outros.

Outros produtos e componentes: transmissores de pressão industriais; componentes de depósito segurança; mercadorias de couro pequenas; mecanismos de operação e indexação de CAM; embraiagens; dispositivos de manuseamento de cabos e mangueiras; equipamento de diagnóstico médico; produtos de defesa; portas rotativas e de alumínio; dispositivos de lubrificação; produtos de ar; filtros de ar; acumuladores; descansos; actuadores; produtos de advertência audíveis e visuais; câmaras de controlo de vácuo.

Também Nyman (1992) apresenta alguns exemplos de produtos com características adequadas à aplicação dos SPC:

Ferramentas mecânicas de utilização manual: a inovação do produto é importante e alguns clientes requerem entrega da armazenagem. Existência de grande variedade nos projectos e alguma sazonalidade na procura. A resposta a novos projectos de produtos, a volumes variáveis e à reparação de peças são factores que diferenciam o líder do mercado.

Escapes e silenciosos de automóveis: existe variedade elevada na forma final do produto com volumes moderados. A matéria prima é quase uniforme, mas deve ser soldada á forma final na altura certa de forma a evitar armazenagem excessiva e custos de expedição.

Interruptores para automóveis: centenas de novos produtos são requeridos anualmente. O ciclo de desenvolvimento requer interacção com engenharia, vendas e produção. As células fornecem um meio de produzir uma variedade de itens e responder a mudanças frequentes no projecto.

Rolamentos industriais: Volumes que variam de vários milhares para uma centena. Variam as dimensões mas as famílias são bem definidas e a geometria é bastante similar. Os projectos existem mas ocorrem variações frequentemente. As células possibilitam flexibilidade para a dimensão e volume sem necessidade de aumentar a capacidade.

A aplicabilidade do SPOP é dependente da variedade e complexidade das linhas dos produtos e dos padrões da procura como mostram estes exemplos de Nyman (1992), relativamente ao SPC. Na verdade perante elevadas quantidades a produzir e pouca diversidade a escolha de uma linha de produção é imediata. Mas perante uma enorme variedade de artigos a possibilidade de aplicar SPC obriga a um exercício de racionalização e/ou normalização que pode passar pela identificação de famílias de produtos.

Além da variedade e complexidade e dos padrões da procura do produto, outros factores que caracterizam a empresa são também orientadores no reconhecimento da aplicabilidade do SPOP, como será realçado no capítulo 4.

3. REVISÃO DE METODOLOGIAS PARA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO

A concepção é um dos aspectos mais importantes na construção de um sistema de produção. A qualidade do desempenho do sistema de produção durante o funcionamento é largamente determinado na fase da sua concepção. Assim esta deve ser realizada de uma forma cuidada, racional e estruturada de maneira a evitar possíveis erros e esquecimento de detalhes importantes ao desempenho e eficácia do sistema.

Por este facto, é importante que a concepção de sistemas de produção seja apoiada numa metodologia ou procedimento sistemático que equacione os elementos relevantes, isto é, os dados, as ferramentas e os métodos necessários e as opções ou alternativas, possíveis e importantes, com vista à escolha e implementação do sistema adequado a uma dada situação de produção.

A necessidade de uma metodologia, além dos aspectos mencionados, deriva também da necessidade de reestruturação frequente das empresas face a uma forte concorrência, da necessidade de ter especificações iniciais precisas porque os erros custam caro, principalmente quando o sistema já está instalado, da necessidade regular da tomada de decisões devido à flexibilidade requerida para satisfazer os clientes e da necessidade para introduzir mais rapidamente novos produtos no mercado que deve ser acompanhado com um sistema fiável (Wu, 1994).

Segundo Wu (1994) uma metodologia deve servir, assim, como um guia ao projectista, reduzindo o esforço na tomada de decisão. Na orientação do processo deve também assegurar que os elementos, que requerem consideração para o projecto bem sucedido de um sistema, sejam disponibilizados e utilizados de forma a conseguir soluções de qualidade. Ainda que uma metodologia não ofereça soluções para problemas específicos, pode sugerir ferramentas a serem usadas nas diferentes situações de projecto e decisão.

Simcsik (1993) considera que a metodologia não procura soluções mas estuda a melhor maneira de abordar determinados problemas procurando desta forma indicar os caminhos para prováveis soluções. Segundo este autor a metodologia auxilia e orienta no processo de investigação e levantamento de dados/informações para tomar as decisões mais oportunas e melhores para um determinado momento de espaço e tempo.

As metodologias têm sido enfatizadas e aplicadas no desenvolvimento de sistemas de informação, podendo os princípios destas abranger o desenvolvimento dos sistemas de produção uma vez que existe um paralelismo forte entre os objectivos e os conceitos implícitos nas metodologias para o desenvolvimento dos dois tipos de sistemas.

Uma metodologia para o desenvolvimento de sistemas de informação define-se como um conjunto de procedimentos, técnicas, ferramentas e documentação que ajudam no desenvolvimento e na implementação de um novo sistema de informação. Uma metodologia inclui fases e subfases, que orientam os projectistas na escolha de técnicas apropriadas em cada fase do projecto e ajudam a planear, gerir, controlar e avaliar projectos de sistemas de informação (Avison, 1995).

Além das metodologias desenvolvidas para a concepção de sistemas existem também metodologia desenvolvidas para reengenharia de sistemas, nomeadamente a metodologia REALMS⁷ desenvolvida no âmbito do projecto REALMS financiado pela Comissão Europeia inserido no quadro do programa ESPRIT IV. O objectivo desta metodologia é promover uma abordagem holística que suporta o processo de reengenharia de sistemas de produção (Doumeingts, 1999).

Desta forma, as metodologias podem seguir diferentes direcções, podem diferir nas técnicas recomendadas ou nos conteúdos de cada fase. Algumas enfatizam mais os aspectos humanos enquanto que outras tentam automatizar o mais possível o processo de desenvolvimento do projecto. Existem ainda metodologias que diferem na forma de análise ao sistema fazendo uma análise apenas estática ou com inclusão de elementos de análise dinâmica.

Algumas limitações, normalmente apontadas às metodologias são o fracasso em conseguir os objectivos de produtividade, muitas vezes, referidos devido às muitas actividades e tarefas que é necessário realizar, a complexidade inerente devido, por vezes, à tentativa de serem abrangentes, a inflexibilidade não permitindo mudanças, a requisição de competências para utilizar a metodologia e o emprego de ferramentas difíceis de utilizar (Avison, 1995).

As metodologias podem ter objectivos diferentes, por exemplo, melhorar a qualidade do projecto em termos de traduzir com exactidão a perspectiva do projectista no projecto

⁷ Re-engineering Application Integrating Modeling and Simulation

do sistema que pode ser implementado na prática sem grandes dificuldades, reduzir os custos de projecto e o tempo de desenvolvimento e avaliar se as decisões correctas estão a ser tomadas no processo de projecto (Wu, 1994).

Algumas metodologias, que obedecem aos princípios referidos nas definições acima, para a concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto são a *Production Flow Analysis* de Burbidge (1996), a metodologia para o *Toyota Production System* (Monden, 1983), a metodologia de Black (1991), a metodologia de *Ingersoll Engineers* (Nyman, 1992), a metodologia sistemática de Massay et al. (1995) e a metodologia de Suri (1998).

A metodologia *Production Flow Analysis* (PFA), desenvolvida por Burbidge em 1963 e recentemente sistematizada em Burbidge (1996) é uma metodologia para a implementação da Tecnologia de Grupo (Gallagher, 1973) numa empresa.

Segundo Burbidge e até à data do desenvolvimento da PFA, a Tecnologia de Grupo baseava-se na codificação e classificação dos desenhos dos componentes juntando peças com forma ou funções similares na mesma família, seleccionando depois as máquinas para formar os grupos de máquinas. Isto não consistia num bom método de encontrar as famílias e daí a apresentação da PFA que procurava os grupos de máquinas e as famílias mas através da análise da informação contida nos processos de fabrico de cada peça, componente ou produto, designados de roteiros de fabrico ou planos de processo.

PFA é, assim, uma técnica usada para planear a mudança de uma organização por processo para uma organização por produto e ainda planear a mudança de uma implantação por processo ou função para uma implantação por produto. A organização por processo é uma organização em que as unidades organizacionais se especializam em dados processos ou funções e a organização por produto é uma organização onde as unidades se especializam na produção de um produto ou famílias de produtos através de todos os processos complementares estritamente necessários (Burbidge, 1996).

PFA é uma técnica progressiva consistindo em cinco procedimentos usados sequencialmente para simplificar o fluxo de material numa empresa, cada um dos quais com um objectivo específico:

Company Flow Analysis, CFA – para simplificar o fluxo entre fábricas ou divisões;

Factory Flow Analysis, FFA – para simplificar o fluxo dentro dos departamentos;

Group Analysis, GA – para planejar a divisão ou reorganização dos departamentos em grupos ou unidades organizacionais orientados ao produto;

Line Analysis, LA – para estudar o fluxo de materiais dentro de cada grupo entre os centros de trabalho;

Tooling Analysis, TA – para encontrar conjuntos de peças que podem ser feitas com a mesma preparação usando ferramentas do mesmo conjunto, e para ajudar na racionalização e normalização das ferramentas.

A técnica é aplicável apenas para a reengenharia do processo produtivo das empresas porque é baseada na análise dos dados contidos nos roteiros ou planos de processo existentes que mostram as operações necessárias para cada peça e as máquinas ou outros centros de trabalho onde cada operação é realizada. Esta técnica tem sido aplicada a imensos exemplos da indústria na produção por lotes, podendo segundo o seu autor, também ser aplicada a outros tipos de indústria.

Na altura do desenvolvimento de PFA, os métodos utilizados em cada uma das fases eram manuais mas entretanto assistiu-se a uma proliferação de métodos adequados para computador desenvolvidos por autores preocupados com a complexidade e dimensão do problema, principalmente na fase de *Group Analysis*, nomeadamente McAuley (1972), King (1979) e Chan e Milner (1982).

Um sistema que tem subjacente alguns princípios metodológicos é o *Toyota Production System* (TPS). Este foi desenvolvido na empresa Toyota pelo seu vice-presidente, Taiichi Ohno e adoptado por muitas empresas desde 1973 (Monden, 1983). A ideia básica deste sistema é manter um fluxo contínuo de produtos na fábrica de forma a adaptar-se às mudanças da procura. A concretização desta ideia traduz-se na chamada produção JIT e pode ser sintetizada no objectivo de produzir apenas o necessário na quantidade necessária e no período necessário. O resultado previsível e desejável é a redução das existências e da força de trabalho com consequente aumento da produtividade e redução dos custos (Monden, 1983).

Quatro requisitos são essenciais para aplicação do TPS: JIT, “*autonomation*”, força de trabalho flexível e criatividade.

Os dois primeiros procuram conseguir fluxos contínuos de produção e a adaptação a alterações nas quantidades e na variedade da procura, sendo “*autonomation*” um

requisito ou processo de inspecção automática que impede artigos defeituosos de passar de uma operação precedente para uma operação subsequente. A força de trabalho flexível prende-se com a variação do número de trabalhadores perante alterações da procura enquanto que a criatividade é conseguida também e, principalmente, através do incentivo a sugestões de melhoria pelos operadores.

Segundo Monden (1983) a concretização destes quatro requisitos alicerça-se nos seguintes sistemas e métodos:

1. A implementação do sistema Kanban para manter a produção JIT
2. A implementação de um método de nivelamento da produção para a adaptação às alterações de procura
3. A minimização dos tempos de preparação para reduzir o tempo de entrega
4. A normalização das operações para obter o balanceamento das linhas
5. A implantação das máquinas e a afectação de trabalhadores polivalentes para conseguir a flexibilidade da força de trabalho
6. A melhoria das actividades por pequenos grupos e a implementação de um sistema de sugestões para reduzir força de trabalho e aumentar a moral dos trabalhadores
7. A implementação de um sistema de controlo visual para conseguir a inspecção automática
8. A implementação de sistemas de comunicação entre os departamentos para promover sistemas de controlo de qualidade total,...

O nivelamento do fluxo produtivo requer um fluxo unitário (peça-a-peça) dentro da célula conseguido através dos pontos 4 e 5 e largamente descrito no trabalho de Sekine (1990). O *one-piece flow* ou fluxo unitário é indispensável no TPS mas é um dos princípios básicos no *Toyota Sewing System* (TSS). Este sistema é aplicação do TPS da indústria automóvel na indústria do vestuário, tendo sido adaptado para esta indústria durante os anos 70 por Aisin Seiki, uma empresa do grupo Toyota (Reece Corporation, 1990). O TSS é ainda conhecido como sistema de produção modular nos Estados Unidos (Black, 1995).

Face às definições de metodologia, o procedimento descrito em Monden (1983) tem inerentes princípios metodológicos que configuram este procedimento como uma metodologia cujo objectivo é a concepção e implementação do TPS.

Segundo Black (1991) a implementação de Sistemas de Produção Integrados (IMPS)⁸ é uma estratégia para a Fábrica do Futuro (FWAF)⁹ e a base desta estratégia é o *Linked-Cell Manufacturing System* (L-CMS). O L-CMS é um sistema de produção composto por células de fabrico e células de montagem sincronizadas de forma que as primeiras fornecem os componentes para as segundas.

A metodologia de Black (1991) procura, assim, implementar o IMPS. IMPS é a designação usada pelo autor que considera existirem outras designações mas sempre relacionadas com a produção JIT. Existe, desta forma, um paralelismo forte com a metodologia para implementar o TPS, descrita por Monden. No entanto, este autor considera o IMPS como a base para a “fábrica do futuro”, enfatizando esta ideia.

O L-CMS é o sistema de produção que é parte integrante da metodologia de dez passos desenvolvida pelo autor para converter uma fábrica existente numa “fábrica do futuro”. Depois dos oito primeiros passos o sistema de produção é integrado com as funções de controlo da qualidade, controlo de existências, controlo da produção e manutenção das máquinas. A automatização e a informatização são os restantes passos.

Resumidamente, segundo Black (1991), os passos a dar para atingir o IMPS são os seguintes:

1. Formar células de fabrico e de montagem
2. Reduzir ou eliminar a preparação
3. Integrar controlo de qualidade
4. Integrar manutenção preventiva
5. Constituir fluxo produtivo uniformizado para a montagem final
6. Ligar células (Kanban)
7. Reduzir trabalho em curso de fabrico
8. Estender IMPS aos fornecedores
9. Automatizar e robotizar
10. Informatizar

⁸ Integrated Manufacturing Production System

⁹ Factory With a Future

No essencial, a aplicação desta metodologia conduz à implementação da filosofia JIT que não sendo fácil de implementar, parece mais simples e atractiva devido à subdivisão feita pela metodologia. Esta é, tal como a anterior, uma metodologia aplicável a sistemas existentes que requer uma mudança com impacto em todos os sectores da empresa, desde a contabilidade à expedição.

Ingersoll Engineers (Nyman, 1992) apresenta, também, um procedimento que orienta a empresa na implementação de Células de Fabricação Flexível (FMC)¹⁰. Pelas características e objectivos que procura encaixa-se na definição de metodologia. Esta consiste essencialmente em cinco fases distintas.

Na primeira fase é equacionado o posicionamento estratégico da empresa, para verificar de que forma as células podem contribuir ou afectar a estratégia de negócio.

A segunda fase consiste no desenvolvimento conceptual da FMC traduzindo, de certa forma, os objectivos da primeira fase para as actividades a desenvolver no sentido de definir uma configuração conceptual para as células, através de uma análise de alternativas de arranjos e conteúdos para a configuração da célula. Esta segunda fase trata ainda da forma como apresentar e convencer a gestão a adoptar as FMC e a envolvê-los no processo.

Na terceira fase são abordadas as considerações especiais do desenvolvimento das células, isto é, a aplicação de tecnologia, a aplicação de sistemas de manuseamento e armazenagem e a utilização de robots industriais e são discutidos o nível de qualidade e os sistemas de controlo das máquinas, das células e da produção.

A quarta fase desta metodologia trata do planeamento detalhado, da implementação das células e da medição dos resultados.

A quinta e última fase trata da transição das células em Sistemas de Produção Flexível e em sistemas CIM, das tendências futuras das células e apresenta ainda alguns casos de aplicação industrial.

Esta é também uma metodologia que abrange e envolve todos os sectores da empresa mas que pode aplicar-se na concepção de novos sistemas, existindo um planeamento cuidado e demorado, e deve ser assim pois só desta forma as células podem ter sucesso (Nyman, 1992).

¹⁰ Flexible Manufacturing Cell

A metodologia sistemática de Massay et al. (1995) utiliza uma abordagem de concepção de sistemas holística que facilita a avaliação do sistema total a ser desenvolvido. A abordagem usa ferramentas e técnicas disponíveis e pode, segundo o seu autor, ser facilmente adoptada por engenheiros e projectistas de sistemas de produção. Incorpora ainda três casos de estudo que são usados para avaliar a metodologia proposta.

A metodologia é aconselhável no projecto de novos sistemas ou na melhoria dos existentes. Esta metodologia divide-se em quatro fases: análise, projecto conceptual, projecto integrado, projecto detalhado. Estas fases são realizadas sequencialmente existindo realimentação entre fases consecutivas.

Na fase de análise são analisados os dados das peças e dos planos de processo para identificar famílias de peças. As famílias identificadas, as quantidades de produção, os planos de processo e os programas de produção definem as capacidades requeridas e as capacidades para a célula e fornecem as entradas, tal como os equipamentos necessários, para a fase seguinte do projecto conceptual.

Na fase do projecto conceptual é definida uma arquitectura do sistema através das operações e sequências das operações e do desenvolvimento de um gráfico de fluxo. Este sistema conceptual é dividido em células, as células são integradas e ajustadas sendo na fase seguinte avaliado o sistema total.

A fase do projecto integrado é ainda subdividida em cinco fases cujo objectivo é a configuração da célula e a configuração do sistema do qual fazem parte as células. No final desta fase são avaliadas as alternativas das configurações do sistema através de critérios de desempenho. A melhor é seleccionada e entra na fase do projecto detalhado.

O objectivo da fase do projecto detalhado é finalizar todas as especificações e detalhes dimensionais da alternativa seleccionada. As saídas desta fase são a documentação de projecto consistindo em desenhos de projecto detalhados e especificações.

Suri (1998) apresenta também uma metodologia que tem o objectivo de implementar a abordagem *Quick Response Manufacturing* (QRM). Segundo o autor QRM é resultado da estratégia *time-based competition* que se fundamenta na utilização da rapidez como uma vantagem competitiva, entregando os produtos ou serviços mais rápido que os concorrentes. Esta estratégia pode ser usada em qualquer empresa de bens ou serviços

(bancos, seguros, alimentar,...) embora o autor a aplique apenas na indústria e daí chamar-lhe *Quick Response Manufacturing*.

O conceito de *Quick Response* tem sido também usado por alguns autores, nomeadamente, May (1994) que sugere que o primeiro exemplo de aplicação teria sido na indústria do vestuário e Forza e Vinelli (1996, 1997) que consideram que QR significa sistema de resposta rápida às solicitações do mercado. Estes autores encaram QR como uma extensão da filosofia JIT, envolvendo todos os elementos da cadeia da indústria têxtil, desde os produtores do fio aos consumidores, com o objectivo de reduzir o intervalo de tempo desde a fase do projecto do modelo até à compra pelo consumidor.

Segundo o autor de QRM, esta vai além dos objectivos e capacidades do sistema JIT pois o seu principal objectivo é a redução dos tempos de entrega enquanto que JIT procura a melhoria contínua através da eliminação dos desperdícios para melhorar a qualidade, reduzir o custo e, consequentemente, os tempos de entrega. QRM é ainda mais abrangente, aplicando-se a outros tipos de indústrias.

A metodologia para implementar esta estratégia inclui quinze passos apresentados aqui muito resumidamente. Os dois primeiros passos relacionam-se com o facto de obter o envolvimento dos gestores e formar uma delegação com responsabilidades de dirigir o projecto. O terceiro passo consiste na escolha de um projecto (produto ou família dirigida a um mercado ou um serviço da parte administrativa/financeira) com um tempo de entrega demasiado longo pela delegação e no estabelecimento de objectivos a alcançar.

Os dois passos seguintes, quarto e quinto passo, dizem respeito à formação e envolvimento da equipa de planeamento cujo objectivo é estudar QRM como uma oportunidade a implementar e recomendá-la aos gestores de topo. No sexto passo é realizada uma análise ao sistema existente, medindo grosseiramente o seu desempenho. No sétimo passo são definidos com mais precisão os objectivos e as actividades a obter e a desempenhar no projecto.

No oitavo passo procede-se a uma recolha e análise de dados mais detalhada. O nono passo é o passo onde se procuram as soluções para os problemas, isto é, para a redução dos tempos de entrega, sendo estas apresentadas juntamente com as recomendações aos gestores e directores da empresa consistindo este no décimo passo.

Os passos restantes relacionam-se com a formação da equipa de implementação (passo 11), envolvimento, treino e responsabilização desta equipa, uma vez que esta pode ficar a trabalhar na célula formada (passo 12), a implementação com a formação das células (passo 13), a avaliação e medição de resultados (passo 14) e, por fim, repetir o processo para outros projectos (passo 15).

A implementação de QRM passa pela reorganização dos sistemas de produção, pela política de compras, planeamento de capacidades, pela política de tamanho de lotes, entre outros. Isto significa que é também uma metodologia aplicável a empresas existentes.

As metodologias aqui apresentadas têm diferenças que possibilitam a classificação destas em grupos. As que só são aplicáveis a sistemas existentes como PFA, a metodologia para o TPS, a metodologia de Black e a metodologia de Suri conduzindo uma empresa na reengenharia do sistema existente podendo este grupo designar-se de metodologias de melhoramento. Outras metodologias, podendo ser aplicáveis a sistemas existentes, aplicam-se na concepção de um sistema como a metodologia de Nyman e de Massay et al. apresentadas e que se podem designar de metodologias de construção.

Além deste aspecto, ainda se podem diferenciar de acordo com a indústria ou indústrias a que se dirigem. Assim a PFA e a metodologia de Nyman dirigem-se fundamentalmente à metalomecânica e apesar dos autores sugerirem a aplicação das metodologias a outras indústrias, a verdade é que para serem aplicadas as metodologias necessitam de bastantes adaptações. As metodologias para o TPS e as metodologias de Black, Massay et al. e Suri, sendo mais abrangentes podem ser aplicadas a outras indústrias.

Orientadas à reengenharia ou à concepção do sistema de produção, as metodologias apresentadas abordam o sistema na totalidade, isto é, há uma total conversão ou implementação do sistema de produção. No entanto, a introdução ou conversão de um sistema de produção nas empresas pode, em alguns casos, estender-se apenas a parte do sistema, dedicando células ou linhas apenas a alguns produtos, mantendo inalterado o sistema de produção para os restantes produtos.

As células podem ainda ser completamente dedicadas à produção de um artigo ou família de artigos ou requerer mais do que uma célula para completar a produção de

uma família. Isto reflecte diferentes situações relativamente à existência de células nas empresas.

Meredith (1992) sugere 4 níveis segundo os quais a empresa pode introduzir células, que dependem do número de células necessário para completar a produção e da proporção da empresa dedicada á produção celular (Tabela 3). Em geral, se uma baixa fracção da empresa é dedicada às células, então essas células são essencialmente células piloto ou situações excepcionais.

Tabela 3. Número de células necessárias para completar a produção vs. proporção dedicada à produção celular

N.º de células necessárias para completar a produção	Proporção da empresa dedicada à produção celular	
	Baixa	Alta
Multi - célula	Parcial	Dois níveis
Célula única	Piloto	Autónoma

O nível parcial inclui os casos no qual a empresa testa o conceito celular mas quer evitar a despesa de mover o equipamento usando assim células nominais ou virtuais. Neste caso as células virtuais são formadas identificando e dedicando determinado equipamento à produção de famílias de peças mas sem o mover do local onde está implantado. Assim, a implantação física do equipamento não é alterada. A essência do problema resume-se à identificação das famílias de peças e do equipamento para dedicar a cada família.

Neste nível identifica-se ainda uma situação diferente, também com um envolvimento parcial da empresa na formação de células, que inclui a implantação de algumas células “parciais” que obrigam as famílias de peças a visitar mais do que uma célula para completarem o processamento, uma vez que as células não contêm todo o equipamento necessário. Nestas circunstâncias a empresa beneficia apenas de algumas vantagens da produção celular.

A difusão da situação parcial a uma maior conversão da empresa em células traduz-se na situação de introdução a dois níveis. Neste quadrante, a maioria das famílias de artigos são produzidas movimentando-se de célula para célula, que podem ser nominais ou parciais. Uma outra situação inserida neste quadrante existe quando um recurso, como por exemplo, o tratamento a quente não se pode distribuir por várias células e tem de ser partilhado por estas.

A implementação da célula piloto ocorre quando uma família é produzida completamente na célula mas os restantes artigos são produzidos no sistema de produção inalterado, fora das células. Tal pode verificar-se como resultado de três situações:

1. Teste piloto para avaliar os benefícios das células.
2. Célula automática ou manual ocasional para produzir uma família com características especiais (volume elevado, requisitos especiais de qualidade, necessidades de processamento invulgares...).
3. Mini – empresa, muitas vezes uma parte da empresa, completamente dedicada a uma família de artigos e que projecta, produz e vende uma família. Esta mini – empresa tem um conceito mais abrangente que uma célula de produção pois inclui engenharia, mercado, finanças e funções de suporte (compras, movimento de materiais, materiais, programação, ...) associada a uma família de produtos.

A produção completa de cada família de artigos numa célula e uma fracção elevada da empresa dedicada à produção celular significa a existência de células autónomas, capazes de produzirem completamente um artigo ou família de artigos.

4. METODOLOGIA PARA A CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO

4.1. INTRODUÇÃO

O objectivo da metodologia desenvolvida neste trabalho é a orientação de possíveis utilizadores na concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto. Para isso fornece elementos e ferramentas indispensáveis no sentido de reduzir o esforço do utilizador no desenvolvimento deste tipo de sistemas.

A metodologia aqui desenvolvida auxilia a reconhecer e a identificar as condições existentes numa empresa que fazem dela uma potencial candidata à implementação de um Sistema de Produção Orientado ao Produto. Neste ponto reside uma das diferenças entre esta metodologia e algumas metodologias apresentadas no capítulo 3, nomeadamente, a metodologia para implementar a *Production Flow Analysis* de Burbidge (1996), a metodologia associada ao *Toyota Production System* (Monden, 1983), a metodologia sistemática de Massay et al. (1995) e a metodologia para o *Quick Response Manufacturing* (Suri, 1998). Estas metodologias orientam a empresa na implementação de um dado sistema mas não equacionam o posicionamento estratégico da empresa e sua propensão para implementar este tipo de sistema nem a escolha de uma configuração mais adequada.

Outras metodologias como a metodologia de *Ingersoll Engineers* (Nyman, 1992) e a metodologia de Black (1991), apesar de equacionarem o posicionamento estratégico orientam a empresa para um tipo de sistema específico, respectivamente, para as Células de Fabricação Flexível e para os *Linked-Cell Manufacturing Systems*, não possibilitando à empresa a adopção de uma configuração de sistema mais adequada, consistindo aqui outra das diferenças entre estas metodologias e a desenvolvida neste trabalho.

A metodologia apresentada neste trabalho procura ainda facilitar o projecto de Sistemas de Produção Orientados ao Produto, através da sua decomposição em fases hierárquicas. A resolução sucessiva de cada fase permite em última análise chegar a uma configuração de Sistema de Produção Orientado ao Produto. Esta metodologia considera três fases fundamentais para a concepção dos SPOP: Projecto Genérico, Projecto Conceptual e Projecto Detalhado.

O Projecto Genérico procura, com base na estratégia de produção, identificar o tipo genérico de sistema de produção, fazer uma primeira aproximação e justificação da viabilidade de utilização de um Sistema de Produção Orientado ao Produto como forma de atingir objectivos estratégicos de produção. Estes, naturalmente, reflectem o posicionamento da empresa relativamente aos mercados, aos produtos e ao atendimento ao cliente traduzidos em respostas como prazos de entrega, variedade de artigos e grau de dedicação da produção ao cliente. Assim é necessário e indispensável recolher informações e averiguar as condições da empresa fazendo, para isso, uma análise à situação existente na empresa e também uma avaliação do ambiente externo.

A análise das alternativas existentes de Sistemas de Produção Orientados ao Produto e selecção de uma delas, e o estabelecimento de parâmetros operatórios são as actividades da fase do Projecto Conceptual. A primeira actividade permite identificar a configuração conceptual mais adequada e a segunda actividade estabelece alguns parâmetros para a operação da configuração escolhida.

O Projecto Detalhado contribui para a especificação da formação das linhas/células, isto é, selecciona os artigos e os equipamentos, forma os postos de trabalho e procura os arranjos intracelular e intercelular mais adequados para a célula/linha.

4.2. A FERRAMENTA DE MODELAÇÃO IDEF

A utilização de ferramentas de modelação na análise e modelação de sistemas ou metodologias de sistemas permite uma abordagem formal ao sistema, contribuindo para a geração e clarificação de ideias e facilita a compreensão de todas as pessoas envolvidas. Isto é conseguido através da decomposição do sistema complexo em componentes mais detalhados e simplificados e do registo permanente do que é necessário fazer sem recorrer à memória ou ao conhecimento de apenas algumas pessoas.

O ICAM¹¹ **DEF**inition (IDEF) é uma dessas ferramentas que foi desenvolvida pela Força Aérea Americana para analisar e descrever a organização de um sistema numa forma gráfica estruturada. IDEF deriva de uma linguagem gráfica conhecida como técnica de análise estruturada e projecto (SADT)¹².

O SADT, desenvolvido durante os anos 70 por D. T. Ross, da SoftTech Inc. foi a linguagem escolhida para suportar a arquitectura ICAM cujo objectivo era integrar os subsistemas de produção e expandir o nível da tecnologia disponível na indústria aeroespacial americana a outras aplicações industriais (Ross, 1977). Como resultado deste programa e da linguagem SADT surgiu o IDEF (Colquhoun, 1993).

O IDEF tem tido uma grande popularidade e aceitação por parte da comunidade científica atendendo aos níveis elevados de publicações e aplicações industriais que se tem encontrado na literatura, designadamente no projecto e implementação de sistemas de controlo (Bauer, 1994), no planeamento de processos (Colquhoun, 1991) e na implementação de sistemas de produção integrados por computador (CIM) (Sarkis, 1994).

Colquhoun et al. (1993) afirma que o IDEF oferece oportunidades para encarecimento e integração com outras ferramentas. Singh e Weston (1996) afirmam que nenhuma outra fornece a mesma capacidade de análise funcional como o IDEF. Wu (1994) aponta ainda como vantagens o de permitir descrever um sistema tão completo quanto o nível de detalhe desejado, o de fornecer um mecanismo para decompor uma função em sub-funções continuando estas com as entradas e as saídas da função original o que permite,

¹¹ Integrated Computer Aided Manufacturing

¹² Structured Analysis and Design Technique

assim, que diversas pessoas trabalhem em aspectos diferentes do sistema total e que a integração destes aspectos no sistema final permaneça consistente.

Uma das características do IDEF e da maioria das técnicas de modelação funcionais é o seu carácter hierárquico de decomposição (Sarkis, 1994). Conceptualmente, a análise estruturada funcional é um meio de decompor um sistema (consistindo em recursos humanos, máquinas, material, produtos,...) em elementos relacionados facilmente entendidos e representar esta decomposição na forma de diagramas e texto (Colquhoun, 1993). As actividades de mais alto nível são explodidas nas actividades de mais baixo nível (como se pode ver na Figura 4).

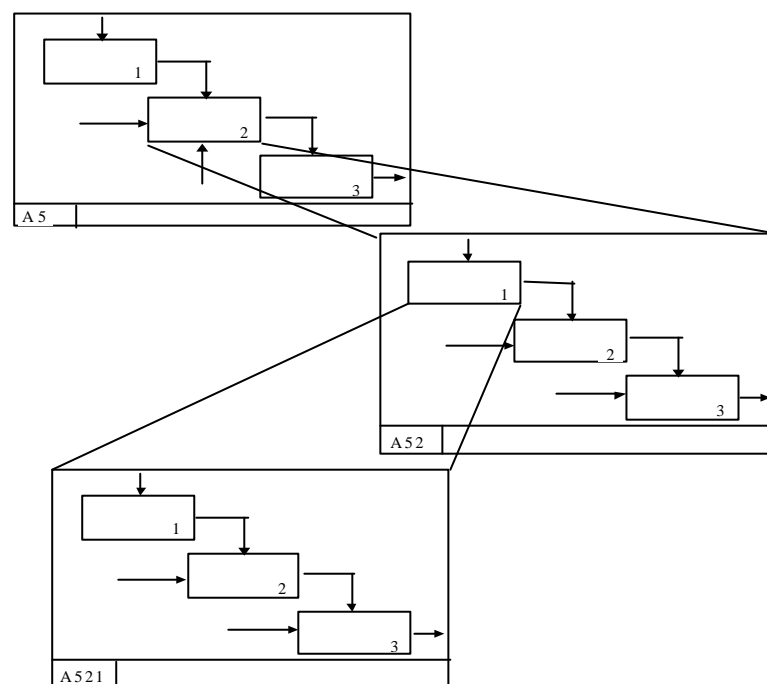


Figura 4. Decomposição do IDEF

IDEF₀ foi uma das primeiras técnicas do IDEF que modela as funções de sistemas complexos e interrelacionados. Mas o IDEF não se limita apenas aos aspectos funcionais de um sistema. Versões posteriores ao IDEF₀ continuaram e continuarão (Sarkis, 1994) a ser desenvolvidas:

- (a) **IDEF₁** - é usada para produzir um modelo de informações que represente a estrutura de informação necessária ao suporte das funções de um sistema de fabrico. O modelo pode ser um modelo entidade – relacionamento num projecto de uma base de dados.

- (b) **IDEF_{1x}** – é usado para o projecto de produtos na modelação dos relacionamentos entidade - atributos.
- (c) **IDEF₂**- é usado para produzir um modelo dinâmico que representa o comportamento variável das funções, da informação e dos recursos de um sistema de fabrico.
- (d) **IDEF₃**- é usado por projectistas de sistemas para fixar conhecimento pericial sobre aspectos de comportamento de um sistema existente ou proposto.
- (e) **IDEF₄**- utiliza o modelo orientado por objecto em vez de uma abordagem relacional.
- (f) **IDEF₅**- descreve os conceitos e as relações conceptuais de um sistema.
- (g) **IDEF₆**- facilita a definição das motivações para os quais o projectista selecciona ou adopta uma estratégia de projecto específica.

Em Dezembro de 1993 uma publicação do Instituto Nacional de Normalização e Tecnologia (NIST)¹³ anunciava o *Integration Definiton Function Modeling* (IDEF₀) como uma norma do *Federal Information Processing Standards* (FIPS). Esta norma descreve a linguagem de modelação gráfica IDEF₀ (semântica e sintaxe), regras e técnicas associadas para desenvolver representações gráficas estruturadas de um sistema ou empresa. O uso desta norma permite a construção de modelos incluindo funções do sistema (actividades, acções, processos e operações), relações funcionais e dados (informação ou objectos) que suportam a integração do sistema (FIPSPUB183, 1993).

Um modelo IDEF₀ é a descrição gráfica de um sistema ou objecto de estudo desenvolvido, de uma determinada perspectiva, para um propósito específico. Este modelo identifica as funções (ou actividades) numa forma estruturada mostrando as relações entre essas funções em termos de informação ou objectos requeridos, usados ou produzidos por essas funções.

Os modelos IDEF₀ consistem numa hierarquia de diagramas relacionados. Cada diagrama contém uma série de funções (normalmente entre 3 a 6 funções) representadas por rectângulos ligados por setas que significam diferentes ligações com as funções. Existem 4 tipos de setas cuja ligação ao rectângulo varia de acordo com o papel específico que desempenha junto da função. Assim os tipos de setas podem representar

¹³ National Institute of Standards and Technology

entradas (I), controlos (C), saídas (O) ou mecanismos (M)¹⁴ se a ligação ao rectângulo se fizer pelo lado esquerdo, pela parte superior, pelo lado direito ou parte inferior, respectivamente, (Figura 5). O ICOM¹⁵ é o código que associa as setas de um diagrama de nível hierárquico inferior a um diagrama de nível hierárquico superior.

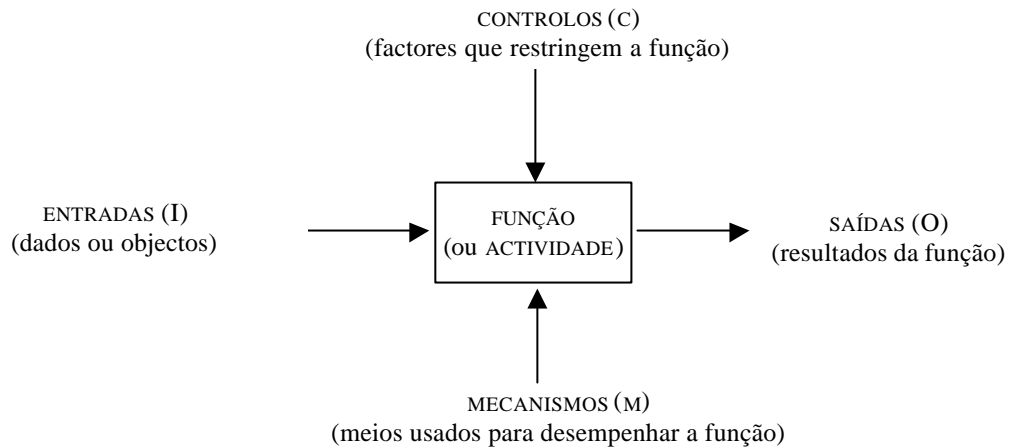


Figura 5. Diagrama IDEF₀

As entradas representam os dados ou objectos a serem alterados, utilizados ou consumidos pela função, as saídas são o resultado da função, os controlos são factores que restringem a função e os mecanismos são o conjunto de meios ou ferramentas para desenvolver a função.

O processo da modelação IDEF₀ pode consumir bastante tempo mesmo com a ajuda do programa comercialmente disponível Design/IDEF (MetaSoftware, 1996), principalmente quando o sistema a modelar é grande e complexo. Além disso, o processo pode ser inconsistente porque podem ocorrer interpretações diferentes para as ligações. Assim, por exemplo, o que para uns pode ser entradas para outros pode ser controlos produzindo assim diferentes modelos IDEF₀.

Segundo Zgorzelski e Zeno (1997) o facto das entradas poderem representar tanto objectos como dados (dois tipos de fluxos diferentes) com o mesmo símbolo (a seta de entrada) constitui uma falha do IDEF₀ pois este é incapaz de expor a ocorrência de problemas, quando provêm dos objectos reais ou dos dados relacionados com eles.

¹⁴ do inglês: *Inputs (I)*, *Controls (C)*, *Outputs (O)* e *Mechanisms (M)*, respectivamente.

¹⁵ Devido ao código ICOM, acrónimo para *Input*, *Control*, *Output* e *Mechanism* não é possível alterar no programa utilizado as letras correspondentes em português pelo que nos diagramas irão aparecer sempre as letras I e O.

Como desvantagem adicional pode identificar-se serem os modelos IDEF₀ uma representação estática do sistema, indicando as relações funcionais, mas não necessariamente especificando quaisquer aspectos dinâmicos.

O programa disponível consiste essencialmente num programa de desenho assistido por computador com muito pouco ou nenhuma inteligência. Estes problemas levaram a que alguns autores se preocupassem em melhorar esses aspectos, nomeadamente, Ang et al. (1997) que desenvolveram uma base de conhecimento para automatizar o processo melhorando a rapidez do processo e a consistência.

Apesar das desvantagens apontadas, o IDEF₀ reúne as características apropriadas para apoio e apresentação estrutural da metodologia para a concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto, desenvolvida neste trabalho, e por isso, foi adoptada.

4.3. FASES NA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO

A ferramenta estrutural para delinear a metodologia é a técnica IDEF₀, apresentada na secção anterior, adequada à especificação de metodologias hierárquicas como é o caso da que aqui se descreve. Começa pelo nível mais elevado global ou geral e gradualmente passa para níveis mais detalhados, permitindo a especificação de dados de entrada, restrições e mecanismos necessários para obter resultados, através das diferentes fases de projecto ou decisão.

Na Figura 6 apresenta-se o diagrama que representa o nível hierárquico mais elevado do modelo IDEF₀ desenvolvido para esta metodologia, o nível A-0. Este contextualiza a função a ser desenvolvida e é chamado de diagrama de contexto.

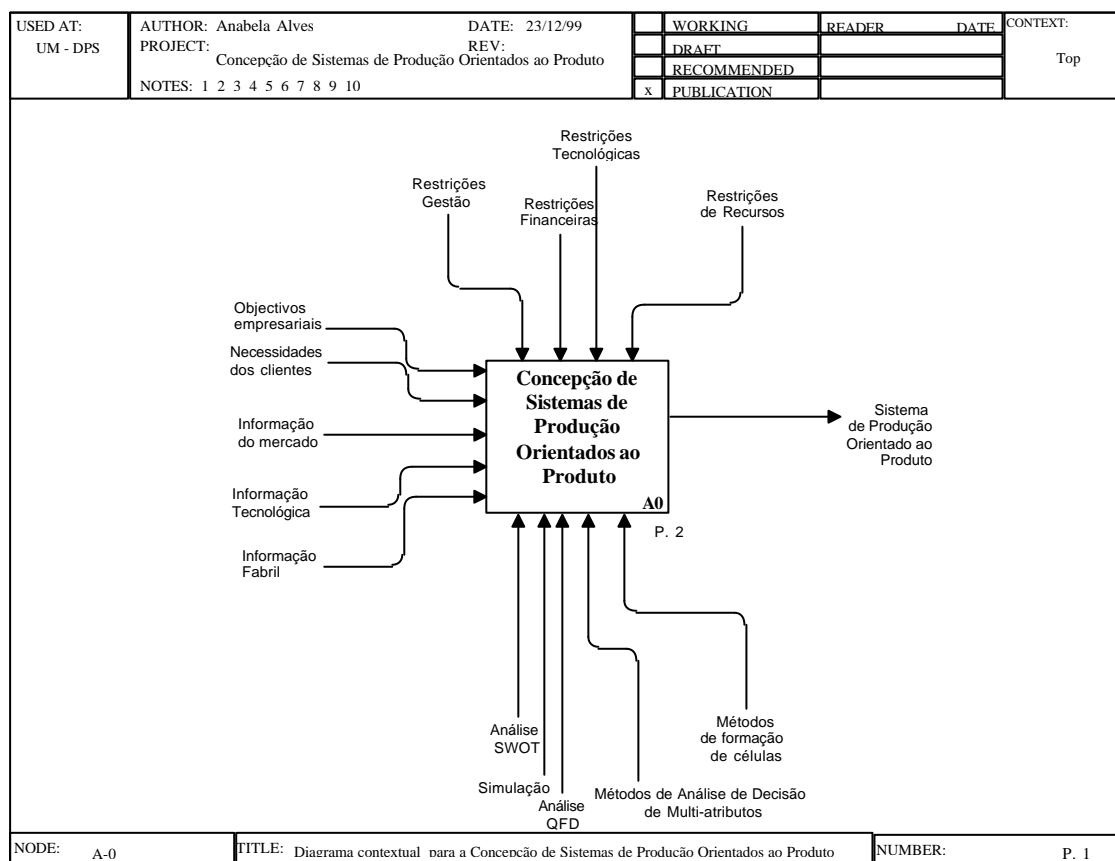


Figura 6. Diagrama contextual para a concepção do Sistema de Produção Orientado ao Produto (nível A-0)

Neste diagrama, além da função representada dentro do rectângulo representam-se ainda as informações que dão início ao processo de concepção dos Sistemas de Produção

Orientado ao Produto, assim como, as restrições que normalmente afectam este processo e alguns mecanismos que servem de ferramentas neste processo.

O diagrama do nível A-0 contextualiza o modelo para a concepção dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto e forma a base para a sua decomposição. É necessário depois evoluir para o nível seguinte procurando mais detalhe sobre como os objectivos empresariais, as informações dos clientes e fabril, do mercado e da tecnologia se relacionam, como as restrições restringem o desenvolvimento da função e como as ferramentas são utilizadas de forma a conduzir à concepção dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto.

A forma de adicionar informação nos modelos IDEF₀ é criar níveis de decomposição, tendo o modelo utilizado na metodologia dois níveis:

1º nível – corresponde ao nível A0 que decompõe a concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto nas 3 fases enunciadas na secção anterior: Projecto Genérico, Projecto Conceptual e Projecto Detalhado.

2º nível - corresponde ao nível A1, A2 e A3 que representam o Projecto Genérico, o Projecto Conceptual e o Projecto Detalhado, respectivamente.

A árvore estrutural da Figura 7 dá uma visão global das fases e actividades da metodologia que levam à concepção dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto.

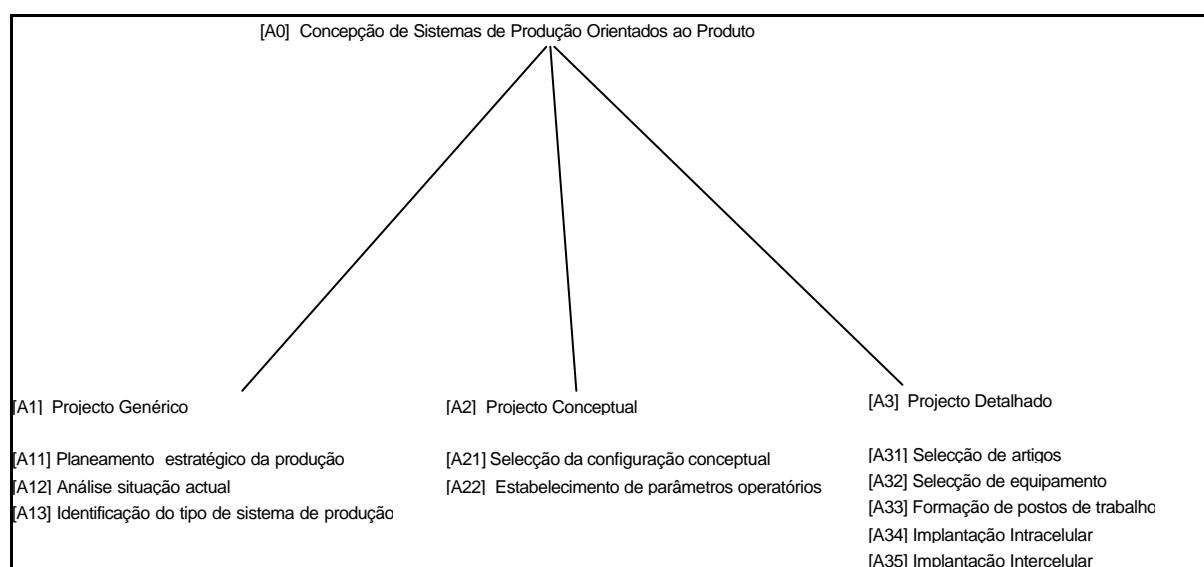


Figura 7. Representação em árvore das fases e actividades da metodologia

O diagrama IDEF₀ de nível elevado, nível A0, da Figura 8 mostra a hierarquização das fases, assim como as suas entradas (I), controlos (C), saídas (O) e mecanismos (M). Os controlos são substituídos pela palavra restrições, uma vez que a palavra controlos pode envolver mais do que o que se pretende representar por restrições. Restrições são informações que restringem o desenvolvimento das fases e actividades da metodologia.

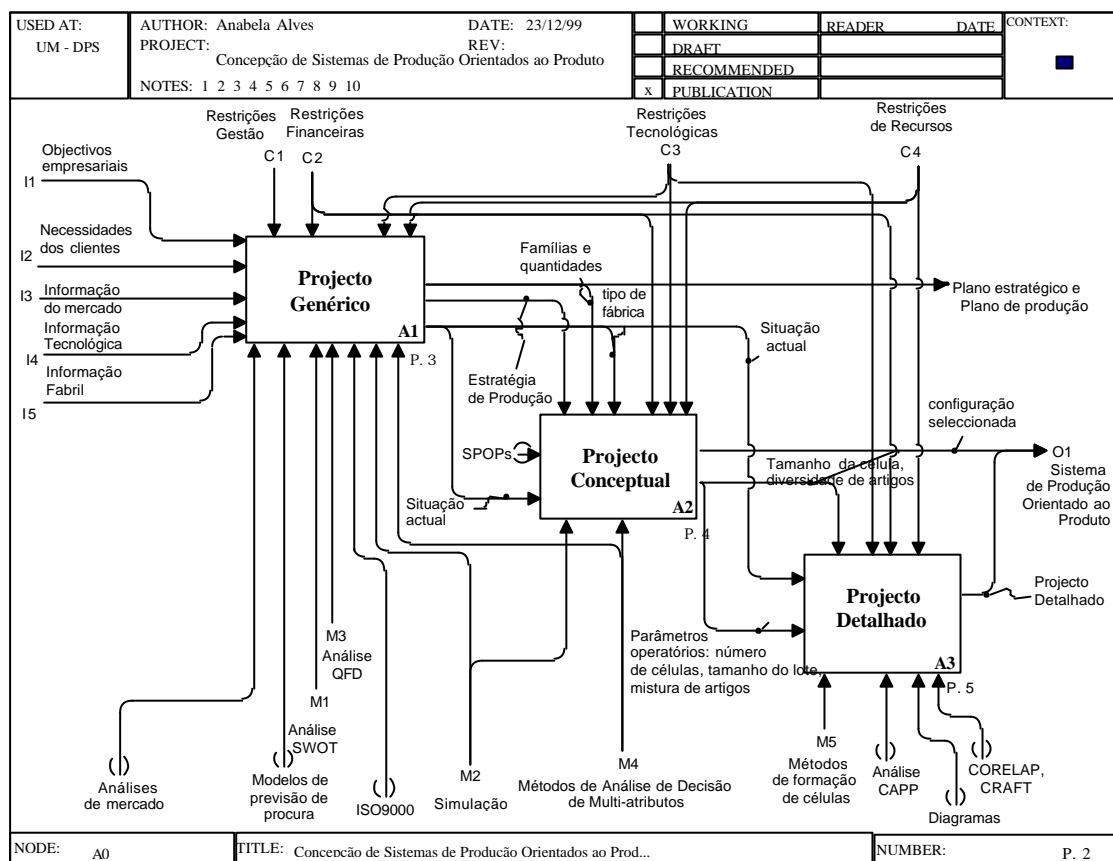


Figura 8. Diagrama de nível elevado da metodologia para a concepção do Sistema de Produção Orientado ao Produto (nível A0)

A metodologia desenvolvida decompõe-se assim nas três fases representadas no diagrama de nível A0 do modelo IDEF₀ e que são realizadas sequencialmente.

4.3.1. Projecto Genérico (A1)

A metodologia apresentada equaciona o posicionamento estratégico da empresa de forma a identificar a configuração genérica do sistema de produção que lhe é mais apropriada. Assim começa com a fase do Projecto Genérico que procura inteirar-se da situação a nível estratégico em termos de objectivos e estratégias requeridas e da situação operacional na empresa no sentido de a orientar na identificação do tipo de sistema mais apropriado.

Numa primeira fase do Projecto Genérico é, pois, desenvolvido o planeamento estratégico da produção cujo objectivo é assegurar a estratégia de negócio, tendo em conta que são requeridos compromissos e tomadas de decisões difíceis (Groff, 1990). Uma estratégia de negócio descreve como uma organização irá competir dada a realidade do mercado e as forças que o afectam (Gibson, 1995).

Para verificar se a capacidade existe é necessário passar para a segunda fase do Projecto Genérico que consiste em avaliar as competências e deficiências dos actuais sistemas de produção existentes ou planear as competências que os sistemas a implantar devem possuir. A inexistência de sistemas ou a falta de capacidade ou ineficiência do sistema existente conduz à necessidade de um sistema cuja configuração deve ser seleccionada tendo em conta factores determinantes à sua adequabilidade.

Tais factores relacionam-se necessariamente com a estratégia de produção, com os produtos ou famílias de artigos e quantidades destes e tipo de fábrica. A formação da estratégia de produção e o conhecimento dos produtos e tipo de fábrica faz-se mediante as informações obtidas sobre os objectivos empresariais e as necessidades dos clientes e os dados sobre o mercado, a tecnologia, o espaço fabril e as configurações genéricas de sistemas.

Perante os factores referidos, a terceira fase do Projecto Genérico consiste em identificar e seleccionar a configuração genérica do sistema de produção mais adequada tendo em conta a estratégia de produção e os produtos a produzir.

As fases equacionadas no Projecto Genérico representam as três actividades: planeamento estratégico da produção (A11), análise da situação actual (A12) e identificação do tipo de sistema de produção (A13) ilustradas na árvore estrutural da Figura 7 e em que se decompõe o Projecto Genérico.

4.3.1.1. Planeamento estratégico da produção (A11)

O planeamento estratégico de uma empresa procura preservar a capacidade competitiva assegurando a utilização eficaz dos recursos de produção. As principais acções são: definir a filosofia empresarial, identificar e avaliar o ambiente externo, políticas e objectivos, definir estratégias de gestão e produção, políticas e necessidades de recursos humanos, planear novos produtos, planear o investimento em instalações e equipamento, fazer o planeamento orçamental e de lucros, programar a longo prazo para

atingir os objectivos empresariais, afectar recursos e avaliar globalmente o desempenho do negócio e da produção (Silva, 1997b).

Destas acções são particularmente relevantes as relacionadas com a formação de estratégias de produção, o planeamento de novos produtos e o planeamento de investimento em instalações e equipamentos porque têm um impacto directo na necessidade de conceber ou alterar o sistema de produção.

Uma estratégia de produção deve ser projectada de forma a ser capaz de suportar a estratégia de negócio e deve descrever a estrutura na qual se baseiam as decisões sobre os sistemas de produção e gestão da produção. O projecto do sistema de produção está tipicamente dependente da estratégia de produção e do ambiente operacional das empresas. Particularmente relevantes para a identificação do tipo de sistema são as Estratégias de Resposta à Procura: Engenharia por Encomenda, Fabrico por Encomenda, Fabrico para Stock, Montagem por Encomenda (Vollman, 1992).

Skinner (1969) realça o papel da estratégia de produção na assegurar da capacidade competitiva da empresa e das implicações estratégicas que a concepção de um sistema de produção deve envolver devido aos compromissos a assumir pelos gestores.

Para a formação de estratégias de produção é, assim, essencial conhecer os objectivos empresariais inseridos na estratégia de negócio para que esses objectivos se possam traduzir na estratégia de produção. Os objectivos são aquilo que a empresa pretende atingir. Concretizam a missão, isto é, o cenário desejável do futuro para a empresa, e englobam os valores que se pretendem conseguir obter no futuro como resultado da actividade da empresa (Cardoso, 1998).

O planeamento de novos produtos vai, com certeza, implicar uma alteração na variedade e quantidades dos artigos a produzir no sistema o que pode conduzir a alteração do sistema ou concepção de novo sistema. Este planeamento requer o conhecimento das necessidades dos clientes, das informações do mercado e da informação tecnológica.

As ferramentas utilizadas nesta actividade devem permitir captar os dados necessários e relevantes ao desenvolvimento desta actividade. Assim, elas servem para recolher e analisar as necessidades dos clientes (análises de mercado, os modelos de previsão à procura e os inquéritos aos clientes), ajudar a traduzir estas necessidades em especificações internas mais adequadas à expectativas dos clientes (Análise QFD e

análise de valor), ajudar a empresa a delinear a estratégia (análise SWOT) e a reconhecer a necessidade de repensar o sistema de produção (ISO 9000 e *Benchmarking*).

Restrições de recursos, restrições financeiras, restrições tecnológicas e restrições de gestão podem condicionar as acções do planeamento estratégico, nomeadamente na elaboração dos planos estratégicos, no planeamento de investimentos e na formação de estratégias de produção.

4.3.1.2. *Análise da situação actual (A12)*

O planeamento estratégico de produção deve estar ao corrente do nível operacional fornecido pelos sistemas e da capacidade disponível que possui. Só assim poderão ser produzidas as quantidades e as famílias de produtos planeadas e desenvolvidas estratégias de produção adequadas. A escolha de uma estratégia de produção sem conhecer a situação actual pode conduzir a empresa a aspirar a metas que não serão atingidas pois não existem condições para o fazer.

Decisões estratégicas como comprar ou produzir dentro de portas podem ser resultado do conhecimento de limitações de capacidade do sistema actual ou da falta de tecnologia. O conhecimento destas limitações pode ainda levar a empresa a definir uma estratégia de produção que passa pela implementação de um novo sistema de produção ou a alteração do existente.

Assim a actividade da análise da situação actual (A12) procura dar o conhecimento sobre a situação existente à empresa em termos de produtos, recursos, processos, fluxos de materiais e informação e capacidade disponível. Para poder fornecer o conhecimento necessário, esta actividade requer informação fabril que se pode encontrar em todos os sectores da empresa desde o Projecto às Vendas.

A existência de bases de dados, planos de processo, fluxogramas operatórios, listas e tabelas organizadas e preenchidas com informações ajudam o processo de recolha dos dados. No entanto, se não existirem, pode ser um bom passo recolher as informações usando algumas destas ferramentas. Na análise desta informação outras ferramentas podem ser usadas, nomeadamente, análises ABC e análise Produto/Quantidade.

A análise dos fluxos de material é aqui particularmente relevante pois é possível classificar o tipo de fábrica em tipo A, V, T e I relativamente à forma do fluxo de

material (Gibson, 1995). A identificação da fábrica numa destas categorias permite a identificação do tipo de sistema de produção mais adequado devido às características de cada tipo de fábrica.

Assim como resultado desta actividade, além dos resultados referidos também se espera obter a classificação do tipo de fábrica.

4.3.1.3. Identificação do tipo de sistema de produção (A13)

A identificação do tipo de sistema de produção permite chegar ao tipo de sistema de produção mais adequado às condições produtivas e organizacionais encontradas e objectivos requeridos. Nesta fase apenas a escolha entre os Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) e os Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF) ou alguma forma híbrida destas, está em causa. Assim são estes tipos de sistemas que constituem as entradas nesta actividade.

Os Sistemas de Produção Orientados ao Produto são sistemas de produção com a característica principal de serem desenvolvidos para a produção de um único produto ou de uma família, mais ou menos restrita, de produtos com semelhanças entre si, normalmente, de natureza processual (Silva, 1997).

Os Sistemas Orientados à Função são sistemas em que as máquinas estão dispostas em secções funcionais de tal modo que permitem, com vantagem, de uma produção mais ou menos diversificada e em quantidades variadas, normalmente pequenas ou muito pequenas. Nestes sistemas existe a possibilidade de executar produções com sequências operatórias muito diversificadas. Existem várias configurações para esta categoria (Varela, 1999) mas devido à orientação da metodologia para os SPOP, os SPOF não são, para além desta fase, mais abordados.

No capítulo 2 fez-se uma breve descrição sobre estas duas configurações genéricas. A Tabela 4 complementa as características referidas no capítulo 2 relativas aos SPOP e compara-as com as dos SPOF. Estas características servem de base para a avaliação destas duas alternativas e posterior selecção de uma delas.

Para esta selecção também é importante e determinante algumas decisões tomadas no planeamento estratégico da produção relativamente ao que, quanto e como produzir e a identificação realizada na análise da situação actual. São, assim, restrições à identificação do tipo de sistema as saídas das actividades do planeamento estratégico da

produção e da análise da situação actual que vão apontando características que o sistema deve possuir e/ou orientando para o sistema mais adequado.

Tabela 4. Caracterização dos Sistemas de Produção Orientados à Função e Orientados ao Produto

Características	Posicionamento/grau	
	SPOF	SPOP
Tipo de estrutura organizacional	Por processo ou funcional	Por produto
Tipo de implantação fabril	Oficina	Linha e célula
Variedade de artigos	Elevada	Reduzida e média
Quantidade/Tamanho do lote	Fabricação unitária/ pequenas séries	De grandes a pequenas séries
Taxa de produção	Baixa	Elevada e média
Tempo de produção por unidade ou lote	Longo, variável	Curto, constante
Custo unitário por artigo	Elevado	Reduzido e médio
Fluxos de produção	Imprevisíveis	Bem definidos e previsíveis
Planos de processos e sequência operatória	Diversificada	Previamente definidos e uniformes
Preparação do trabalho ou dos processos	“Ad hoc”	Rigorosa
Controlo da produção	Difícil	Fácil
Tempos de preparação (% do total)	Elevados	Baixos
Máquinas/postos de trabalho	Simplex, flexíveis	Complexas e dedicadas
Utilização do equipamento	Baixa e muito baixa	Elevada
Mão de obra	Elevada e funcional	Especializada e polivalente
Mercado	Variável e incerto	Estável e previsível
Risco de investimento	Baixo	Elevado e médio

Mecanismos nesta actividade devem ser ferramentas adequadas para a avaliação e selecção de alternativas, já que se trata da selecção entre dois tipos de sistemas com características, muitas vezes, difíceis de quantificar. Apresentar e descrever todas as ferramentas que têm aquele objectivo seria uma tarefa desnecessária que desviaria o assunto a tratar, pois a existe muita bibliografia sobre o assunto.

A avaliação entre muitos e conflituosos critérios faz da Análise de Decisão de Multi-atributos uma ferramenta poderosa descrevendo-se alguns dos métodos pertencentes a esta ferramenta, tais como, o processo hierárquico analítico e os modelos de utilidade (Canada, 1989).

Os métodos de Análise de Decisão de Multi-atributos permitem fazer uma avaliação qualitativa e quantitativa das várias alternativas, ordenando-as de modo a ser possível identificar a seleccionada. A avaliação qualitativa das configurações deve basear-se nas actividades que criam satisfação e confiança no cliente. Estas actividades devem

traduzir-se sumariamente na capacidade de entrega de produtos e serviços de qualidade a um custo competitivo.

Como mecanismo nesta secção descreveu-se, ainda, a simulação. Através da simulação podem construir-se modelos representativos dos sistemas e compará-los usando medidas de desempenho. Na simulação é ainda possível integrar ferramentas do tipo sugerido acima para a avaliação e selecção das alternativas dos sistemas.

Como saídas desta fase espera-se obter a configuração mais adequada para o sistema de produção e que esta configuração seja um SPOP pois só assim a metodologia pode continuar a ser aplicada uma vez que é orientada a este tipo de configuração genérica.

4.3.2. Projecto Conceptual (A2)

O Projecto Conceptual (A2) é a segunda fase da metodologia que pressupõe que a configuração genérica escolhida foi um SPOP. Admitindo que realmente assim foi então nesta fase procede-se à análise e comparação de configurações conceptuais de Sistemas de Produção Orientados ao Produto. Estas configurações são analisadas e comparadas, tendo em conta restrições impostas pela fase do Projecto Genérico. Posteriormente, e utilizando ferramentas adequadas à avaliação e selecção de alternativas é seleccionada uma configuração conceptual.

Nesta fase são também estabelecidos alguns parâmetros operatórios. Estes parâmetros servirão de base ao Projecto Detalhado onde a configuração conceptual passa a configuração física.

Decompõe-se em duas actividades: a selecção da configuração conceptual (A21) e o estabelecimento de parâmetros operatórios (A22).

4.3.2.1. Selecção da configuração conceptual (A21)

A actividade de selecção da configuração conceptual tem como saída a escolha da configuração conceptual do SPOP. Para isso analisa-se e compara-se alternativas de configurações conceptuais de SPOP. Um leque possível de alternativas de configurações conceptuais de SPOP são caracterizadas em Silva e Alves (1997) e apresentadas nesta metodologia com algumas contribuições adicionais.

Essas configurações incluem: a linha de produção dedicada (LPD), a célula de Tecnologia de Grupo (CTG), o sistema de produção flexível (SPF), a célula por projecto

(CP), a célula híbrida (CH), a célula virtual (CV), a célula virtual híbrida (CVH) e a célula Just-in-Time (CJIT).

A comparação destas configurações faz-se relativamente às restrições impostas pelas saídas das actividades do planeamento estratégico da produção (A12) como a estratégia de produção e as famílias de artigos e quantidades, e da análise da situação actual (A12) como o tipo de fábrica e ainda relativamente a outros tipos de restrições como as restrições de recursos, tecnológicas e financeiras.

A utilização de ferramentas de avaliação e selecção de alternativas como os métodos de Análise de Decisão de Multi-atributos e, mais uma vez, a simulação são novamente os mecanismos para esta actividade.

Nesta actividade é ainda exemplificada a análise pesada de factores, utilizando como factores de avaliação critérios importantes que distinguem as várias alternativas, nomeadamente, a taxa de produção, a variedade de artigos, o movimento e os tempos de preparação da linha/célula.

A saída desta actividade é a obtenção da configuração conceptual do SPOP que melhor atenda ao mercado e objectivos da empresa.

4.3.2.2. Estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)

No desenvolvimento da actividade A22 são estabelecidos alguns parâmetros operatórios relevantes ao estabelecimento de configurações específicas que objectivamente respondam aos objectivos e realidade industrial em causa.

Uma entrada nesta actividade é a configuração escolhida na actividade anterior, uma vez que cada configuração tem diferentes requisitos que se reflectem em diferentes parâmetros operatórios.

Os dados da situação actual são também necessários nesta actividade pois é a partir deles que se podem fazer algumas estimativas e cálculos, nomeadamente do número de células. Tais dados incluem os artigos e as quantidades a produzir, o processo de fabrico, os roteiros, o equipamento disponível, entre outros.

Como restrições a esta actividade tem-se a estratégia de produção e as famílias de produção dos artigos. A estratégia de produção seguida pela empresa define um conjunto de iniciativas que implica diferentes parâmetros operatórios, nomeadamente

diferentes políticas de gestão de stocks ou de controlo da produção. As famílias de artigos de produção e quantidades podem condicionar a estimativa de algumas das saídas dos parâmetros operatórios.

Para o estabelecimento de parâmetros operatórios podem ser usadas algumas ferramentas, algumas para fornecer a informação necessária como as bases de dados, as listas e tabelas com informação recolhida na análise da situação actual, outras para ajudar a estimar necessidades de capacidade como o Planeamento Director de Capacidade e a estabelecer parâmetros operatórios como a simulação.

As saídas desta actividade são os parâmetros operatórios como a mistura de artigos, o tamanho da célula, o número de células, os turnos por dia, entre outros. São ainda importantes como resultado desta actividade algumas estimativas de custos como por exemplo, custo de inspecção, custo de preparação, custo de manuseamento de materiais.

4.3.3. Projecto Detalhado (A3)

A maioria das configurações de SPOP são sistemas de produção celulares que implicam, quase sempre, um maior esforço na concepção que as linhas de produção. Enquanto as linhas de produção são concebidas para a produção de um único artigo ou de uma mistura regular de artigos cujas taxas de produção requeridas justificam plenamente sistemas completamente dedicados, os sistemas de produção celulares, podendo ser concebidos para um único artigo, esta é, no entanto, uma situação particular pois normalmente concebe-se este tipo de sistema para uma variedade de artigos onde a formação de famílias de artigos, isto é, conjuntos de artigos que apresentam similaridades, é possível.

Desta forma, para o Projecto Detalhado do SPOP é necessário haver uma selecção de artigos e, provavelmente uma formação de famílias de artigos que, podendo em alguns obter-se rapidamente, a obtenção difícil é mais esperada.

Feita a selecção de artigos e/ou formação das famílias de artigos é necessário seleccionar o equipamento para produzir estes artigos, implantá-lo e posicioná-lo relativamente ao espaço fabril que vai ocupar. A realização destas acções vão dar corpo á configuração conceptual escolhida e consistem nos objectivos do Projecto Detalhado.

O Projecto Detalhado decompõe-se assim, em 5 actividades: a selecção dos artigos (A31), a selecção do equipamento (A32), a formação dos postos de trabalho (A33), a

implantação intracelular (A34) e a implantação intercelular (A35). Estas actividades estão muito relacionadas, principalmente as duas primeiras (A31 e A32) e as duas últimas (A34 e A35), sendo difícil qual delas se deve fazer primeiro. No entanto, devido à forte dependência entre elas torna-se necessário existir um processo iterativo que permita voltar atrás e ajustar resultados anteriormente obtidos.

4.3.3.1. Selecção de artigos (A31)

A selecção de artigos para produzir no SPOP pode ser uma actividade complexa. No caso da concepção de uma linha de produção dedicada, esta selecção é quase sempre baseada nas quantidades do artigo a produzir que justifica o investimento a realizar. No caso das células os aspectos a considerar podem ser muito diferentes, desde o aspecto físico dos artigos ao mercado a que os artigos se dirigem.

Assim nesta actividade devem entrar todas as informações que caracterizam os aspectos a considerar para a selecção dos artigos pois eles podem constituir a base desta selecção. Estas informações são também relevantes para a aplicação de métodos adequados para a selecção e/ou formação de famílias de artigos e para desempenhar esta e as outras actividades nesta fase pois sem dados pouco ou nada se pode fazer.

A actividade do estabelecimento de parâmetros operatórios também fornece informações importantes para a selecção/formação dos artigos. Outras informações necessárias a esta actividade são obtidas nas actividades posteriores, especificamente da selecção do equipamento e da formação dos postos de trabalho.

A diversidade dos artigos e o limite para o tamanho das células são restrições ao desenvolvimento da actividade de selecção de artigos.

As ferramentas utilizadas nesta actividade são as técnicas e os métodos que se conhecem para a selecção dos artigos ou formação de famílias dos artigos, tais como o conceito do Componente Composto (Mitrofanov, 1959), a *Production Flow Analysis* (Burbidge, 1996), o agrupamento baseado em coeficientes de similaridade (McAuley, 1972), entre outras. Uma breve discussão de algumas dessas técnicas e métodos é apresentada na secção dos mecanismos desta actividade.

Alguns dos métodos apresentados tentam resolver apenas o problema da selecção/formação das famílias de artigos enquanto outros tentam resolver de uma

forma integrada todos os problemas subjacentes à formação das células, abordando os problemas da selecção de artigos e equipamento e implantações.

Como saídas desta actividade tem-se a selecção dos artigos ou selecção/formação de famílias de artigos a produzir no sistema de produção.

4.3.3.2. Selecção de equipamento (A32)

Nesta actividade procura-se seleccionar o equipamento necessário para produzir os artigos seleccionados ou as famílias de artigos formadas na actividade anterior.

Para realizar esta actividade são necessárias informações sobre o equipamento disponível, que se pode encontrar sob o item de informação fabril. Sendo a selecção de equipamento dependente dos artigos seleccionados, as características destes, os planos de processo, e outras informações são necessárias para identificar possíveis necessidades de equipamento que não se encontra disponível. Além destas informações são ainda necessárias informações que resultam da formação dos postos de trabalho que é a actividade seguinte.

As restrições à selecção de equipamento devem-se ao tamanho da célula e à complexidade de agrupamento das máquinas.

A selecção de equipamento pode resultar da aplicação de algumas técnicas ou métodos referidos na secção 4.3.3.1. Estes métodos e alguns trabalhos pertinentes para a selecção de equipamento são as ferramentas utilizadas nesta actividade.

Além de seleccionar o equipamento esta actividade fornece ainda resultados como o número de células, o número de operações excepcionais, isto é, operações que requerem máquinas que pertencem a diferentes grupos e o tipo de máquinas partilhadas.

4.3.3.3. Formação de postos de trabalho (A33)

Na formação de postos de trabalho procura-se a replicação de recursos e a afectação equilibrada do conteúdo operatório de fabrico de um artigo pelo número de postos de trabalho, isto é, o balanceamento ou equilibragem (Silva, 1997a).

Na actividade anterior seleccionou-se o equipamento, sendo conveniente agora verificar quantas unidades deste equipamento são necessárias para satisfazer as quantidades requeridas. Isto implica ter um conhecimento sobre a situação actual, sobre os parâmetros operatórios e a utilização, disponibilidade e custo de duplicação de

máquinas. Informações que resultam da actividade anterior, selecção de equipamento e das actividades seguintes, implantação intracelular e intercelular são também entrada nesta actividade.

A disponibilização daquelas informações permite averiguar sobre equipamento disponível e equipamento necessário, sobre possíveis aquisições de máquinas para evitar partilha e consequentemente fluxos intercelulares, sobre a alteração do número de células estimado no estabelecimento de parâmetros operatórios.

As restrições podem ser restrições de vizinhança, tecnológicas, de recursos, financeiras e de tamanho da célula.

Para a realização desta actividade são necessárias ferramentas como análises aos planos de processo que reduzam ou eliminem as operações excepcionais, métodos de balanceamento, métodos de distribuição de operadores nas células/linhas e simulação. Também nesta actividade são ainda apresentados alguns trabalhos que abordam o problema de replicação das máquinas.

A possibilidade de replicação de algumas máquinas, de subcontratação pode alterar a formação de artigos e o agrupamento de máquinas realizado anteriormente pelo que algumas saídas desta actividade devem ser entrada nas actividades anteriores. Tais saídas, além das referidas, são a divisão/formação das famílias de artigos, as máquinas partilhadas, a distribuição da carga e as sobrecargas de algumas máquinas.

Outros resultados desta actividade importantes para as actividades seguintes são os postos de trabalho, as sequências das operações e os fluxos, a composição da célula, o sistema de manuseamento intracelular, a localização óptima das máquinas partilhadas, as máquinas ou os processos incompatíveis, a mistura de artigos e o tamanho da célula.

4.3.3.4. Implantação intracelular (A34)

O objectivo da implantação intracelular é encontrar um arranjo para o equipamento seleccionado que minimize os movimentos dos materiais e um sistema para manuseamento e fluidez dos materiais. Nesta actividade são apresentados alguns tipos de implantações e sistemas de manuseamento de material possíveis de serem escolhidos para a implantação da configuração seleccionada.

Como o problema de implantação é complexo, este deve ser tratado de uma forma organizada e sistemática, sugerindo-se assim o procedimento de Muther (1973), que

apesar da década de setenta ainda pode contribuir significativamente para ajudar no processo de obtenção de uma solução.

Para realizar esta actividade devem entrar informações como os postos de trabalho, as sequências das operações e os fluxos, a composição da célula e o sistema de manuseamento que resultam da formação de postos de trabalho. Além destas, informações da actividade da implantação intercelular são importantes tais como as interacções dos fluxos com células vizinhas, o sistema de manuseamento intercelular e a localização do tipo de máquinas partilhadas e que vão influenciar os resultados obtidos na iteração anterior.

A realização desta actividade faz-se mediante algumas restrições tais como as restrições de espaço e de construção do edifício, restrições tecnológicas, financeiras e de recursos.

Algumas ferramentas sugeridas para concretizar a actividade da implantação intracelular são os trabalhos de autores que resolvem ou tentam resolver o problema da implantação e diagramas para representar o fluxo dos materiais.

Como saídas desta actividade são os fluxos entre células, o tamanho da célula e a forma da célula importantes para a actividade seguinte e o tipo de implantação, fluxos e caminhos dos artigos, o custo de manuseamento de materiais, os centros de maquinaria multifuncionais e máquinas convencionais e a localização das máquinas partilhadas e incompatíveis.

4.3.3.5. Implantação intercelular (A35)

A actividade de implantação intercelular procura encontrar um arranjo e um sistema de manuseamento entre as células. O procedimento de Muther (1973) pode também aqui ajudar. Alguns tipos de implantações intercelulares e sistemas de manuseamento são apresentados para mostrar que o leque de opções pode ser grande e a tomada de decisão complicada se não se conhecer exactamente que objectivos se pretendem atingir.

Informações necessárias para realizar esta actividade são a localização óptima das máquinas partilhadas, as máquinas ou os processos incompatíveis, a mistura de artigos e o tamanho da célula que resultam da actividade de formação de postos de trabalho e os fluxos entre células, o tamanho da célula e a forma da célula que resultam da actividade de implantação intracelular. As restrições que afectam a realização desta actividade são do mesmo tipo que as restrições da actividade da implantação intracelular.

As ferramentas utilizadas, além de alguns trabalhos de autores que abordam este problema são os programas computadorizados para encontrar soluções para as implantações.

Como saídas desta actividade tem-se o tipo de implantação, fluxos e caminhos dos artigos, o custo de manuseamento de materiais, os centros de maquinagem multifuncionais e máquinas convencionais, a localização das máquinas partilhadas e incompatíveis, interacções dos fluxos com células vizinhas, o sistema de manuseamento intercelular e a localização do tipo de máquinas partilhadas.

4.3.4. Considerações adicionais sobre a metodologia

Com a conclusão da fase do Projecto Detalhado obtém-se a configuração detalhada do Sistema de Produção Orientado ao Produto. Para chegar até esta fase, há um processo elaborado de análise e avaliação, assim como de prévia recolha de informação sobre o mercado, produtos, processos e recursos. Esta recolha de informações pode ser morosa e complexa e, por vezes, não se trata apenas de uma simples recolha mas de uma procura e organização dos dados numa forma capaz de ser entendida e utilizada nas fases da metodologia.

A referência a algumas ferramentas a utilizar na metodologia não é exaustiva não se pretendendo limitar a escolha e utilização de outras ferramentas potencialmente úteis na realização de cada uma das fases da metodologia. A aplicação de algumas ferramentas sugeridas é relativamente simples mas não se pode dizer o mesmo de outras. Assim a ajuda de peritos, nomeadamente, na área da análise económica, simulação e programação matemática pode ser necessária na aplicação de ferramentas de análise e no processo de avaliação de alternativas.

As restrições, mais do que restringir uma dada actividade, em determinadas situações ajudam no processo de obtenção de uma saída como, por exemplo, na análise de alternativas por contribuírem para a redução do leque de opções.

Em qualquer situação de projecto e estudo complexo é importante saber como evoluir e por onde começar. Por isso, uma metodologia de acção onde claramente se define fases encadeadas de trabalho, assim como entradas, restrições, mecanismos e saídas, é necessária. O projecto de SPOP não é excepção. Por isso a metodologia apontada poderá ser muito útil no alcance eficiente dos objectivos do projecto deste sistema.

5. PROJECTO GENÉRICO (A1)

A decisão de conceber um novo sistema de produção pode associar-se a várias razões importantes que incluem o planeamento ou a necessidade de produzir um novo produto, a melhoria do desempenho ou expansão do sistema existente e o processo de inovação. Além destas, as razões apontadas na secção 2.2.2.2 podem justificar a decisão de adoptar e conceber um sistema de produção celular, em particular (SPC).

As razões apresentadas não implicam necessariamente que uma empresa deva adoptar um sistema sem estar segura de que tal é necessário e adequado às características, aos objectivos e aos mercados da empresa, traduzindo-se em benefícios reais relativamente a outras soluções.

Assim, projectar um sistema de produção requer uma avaliação da situação da empresa ao nível do seu potencial, da sua posição competitiva e do mercado dos seus produtos. Este conhecimento está nas mãos dos gestores pelo que uma decisão de introdução de um novo sistema numa empresa deve ter sempre o envolvimento de quadros superiores de gestão.

Tal envolvimento é necessário porque esta concepção requer uma abordagem empresarial integrada no sentido de evitar ilhas isoladas no meio da empresa. As ligações necessárias aos diferentes sistemas internos e externos, assim como o fornecimento necessário dos serviços de suporte à formação e posterior funcionamento do SPOP tem de ser assegurado. De facto, os sistemas de produção influenciam, sendo também influenciados pelo funcionamento de sectores como o Projecto, o Planeamento e Controlo da Produção, a Investigação e o Desenvolvimento, as Compras, as Finanças, o Controlo de Qualidade, a Distribuição e armazenagem e as Vendas, ao mesmo que poderão requerer transformações organizacionais que exigem o comprometimento dos responsáveis máximos da gestão da empresa.

Conhecer o mercado da empresa é talvez uma das preocupações mais importantes para tomar decisões quanto às estratégias a seguir, que podem ou não incluir os SPOP. Mas as razões que levam uma empresa a considerar a instalação de um novo sistema também devem ser conhecidas pois estas razões, tal como o conhecimento do mercado, podem traduzir-se em diferentes estratégias de produção.

Assim, a fase do Projecto Genérico procura com base na estratégia de produção, nas quantidades e famílias de produtos a produzir seleccionar o tipo de sistema de produção que melhor sirva tal estratégia. Nesta fase é ainda necessário conhecer a situação actual da empresa porque, por um lado, os dados sobre os produtos, recursos existentes e processos são essenciais para implementar qualquer tipo de mudança. Por outro lado, o conhecimento da situação actual em comparação com alternativas, por vezes, implementadas por concorrentes permite avaliar a validade de optar por novos e diferentes sistemas de produção. São catalisadores de tais opções ineficiências sistemáticas e inultrapassáveis, por exemplo, ao nível das entregas, da qualidade ou custos operacionais.

O diagrama de nível A1 da Figura 9 representa as actividades que resultam da decomposição do Projecto Genérico.

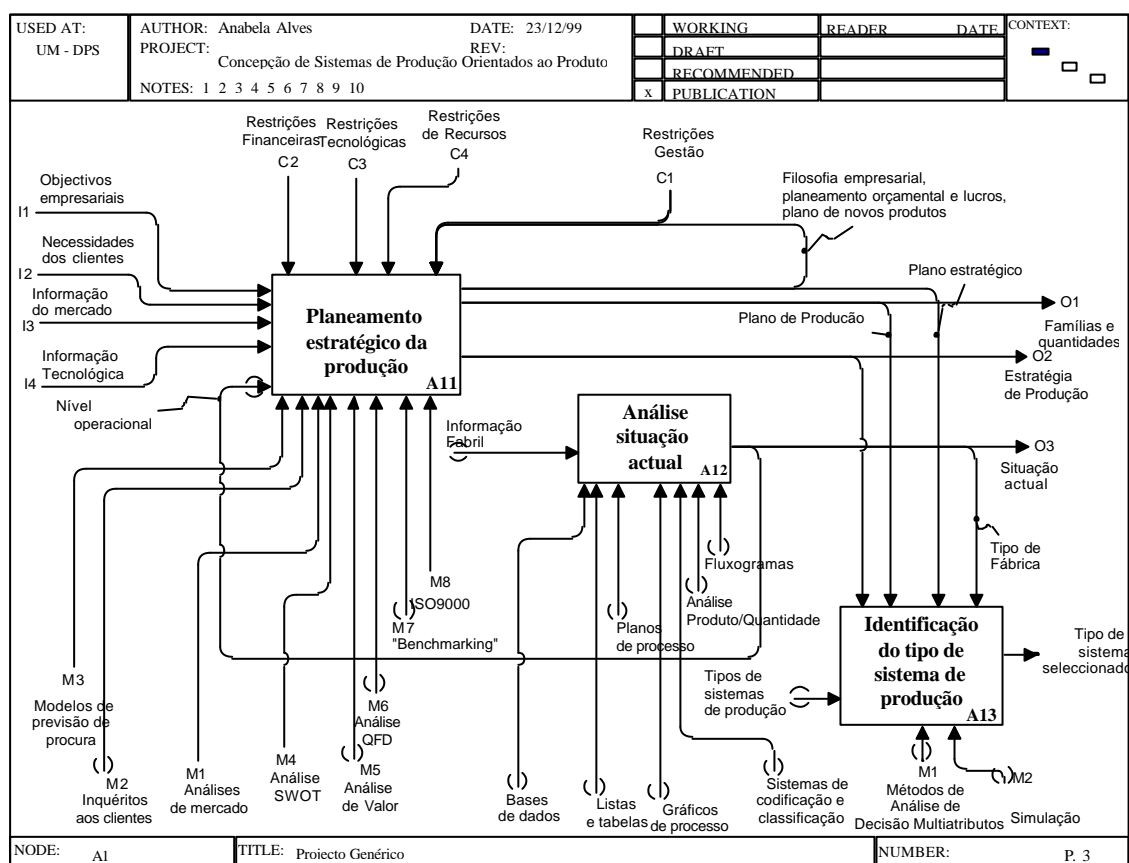


Figura 9. Diagrama IDEF₀ para o Projecto Genérico (nível A1)

O planeamento estratégico (A11) e a análise da situação actual (A12) podem ser realizadas em simultâneo, existindo alguma realimentação da análise da situação actual para o planeamento estratégico. A identificação do tipo de sistema (A13) deve ser

realizado após as outras duas actividades pois é dependente da estratégia de produção e requer o conhecimento da situação actual, sendo as saídas destas actividades as restrições de opção para a selecção do tipo de sistema.

O planeamento estratégico da produção procura estabelecer o caminho da empresa no que respeita à estratégia de produção a seguir. A análise da situação actual verifica que tipo de sistema está presentemente em operação, qual o nível operacional fornecido e ajuda a reconhecer áreas que requerem melhoria. A terceira actividade nesta fase, a identificação do tipo de sistema de produção, procura identificar que tipo de sistema pode suportar a execução da estratégia de produção.

5.1. PLANEAMENTO ESTRATÉGICO DA PRODUÇÃO (A11)

O planeamento estratégico da produção equaciona importantes variáveis, tais como: ciclo de vida do produto, variedade de artigos, prazos de entrega, qualidade e colocação no cliente, flexibilidade de produção e equilíbrio entre a capacidade e a procura. Cada uma destas variáveis pode constituir uma ou mais bases para formação de estratégias de produção.

As diferentes fases pelas quais o produto passa durante o seu ciclo de vida reflectem diferentes necessidades em quantidades a produzir. Durante a introdução do produto, devido à incerteza do mercado, as quantidades são reduzidas. Na fase do crescimento aumentam as quantidades. Na fase seguinte, a fase da maturidade, as quantidades tendem a estabilizar. Por último, na fase do declínio as quantidades diminuem.

A duração do ciclo de vida e a duração de cada fase individual variam para produtos diferentes logo a gestão da produção face aos ciclos de vida dos produtos envolve uma gestão diferente e um controlo cuidado da mistura dos produtos em estados do ciclo de vida dinamicamente variáveis no sentido de assegurar a eficiência e a eficácia da produção e contribuir para a sustentabilidade da empresa. Por exemplo, para empresas com produtos que têm ciclos de vida longos o esforço está em produzi-los eficiente e economicamente. Para produtos de ciclos de vida curtos é dada ênfase à inovação e desenvolvimento do produto.

A tendência actual é dos ciclos de vida cada vez mais curtos, isto é, os produtos passam pelas fases referidas mais rapidamente o que implica por parte da empresa uma flexibilidade de produzir novos artigos rapidamente para que no momento em que um

produto é retirado do mercado outro o possa substituir. Só assim é que a empresa garante a sua sustentabilidade devendo, no entanto, ter um sistema de produção capaz de fornecer os requisitos da flexibilidade e da rapidez de resposta necessárias à introdução de novos produtos ou a assegurar as diferentes quantidades requeridas durante o ciclo de vida dos produtos.

O desenvolvimento do planeamento estratégico de produção permite obter os planos estratégicos da produção, os planos de produção agregada e a estratégia de produção. Estes resultados orientam na identificação do tipo de sistema de produção que a empresa venha a adoptar (diagrama IDEF₀ da Figura 9).

5.1.1. Entradas ao planeamento estratégico da produção (A11)

Informações necessárias às acções a realizar durante o desenvolvimento do planeamento estratégico são: os objectivos empresariais (I1), as informações dos clientes (I2), do mercado (I3) e tecnológicas (I4) e ainda informações sobre o nível operacional fornecido pelo sistema existente (I5) (diagrama IDEF₀ da Figura 9).

II. Objectivos empresariais

A estratégia competitiva de negócio vai traduzir-se em objectivos empresariais diversos de impacto directo na estratégia de produção. Objectivos empresariais típicos incluem manter ou aumentar o crescimento por ano ou os lucros, estabelecer ou manter uma posição de líder no mercado ou no uso de uma tecnologia, ou ainda minimizar o risco diversificando os produtos.

Estes e/ou outros objectivos podem ser conseguidos através de diferentes formas, sendo algumas delas: a melhoria do serviço ao cliente no que respeita aos prazos de entrega ou qualidade do produto, a melhoria da resposta às mudanças do mercado através da introdução de novos produtos, a fragmentação do mercado e a melhoria da utilização da capacidade e aumento da satisfação dos operadores.

Algumas destas formas são contributo directo para a estratégia de produção porque influenciam o modo de produção a adoptar, nomeadamente, a diversificação dos produtos que implica flexibilidade na produção de pequenas séries de produtos variados que se traduz, muitas vezes, na implementação de novos sistemas de produção ou na reengenharia dos existentes.

12. Necessidades dos clientes

As necessidades dos clientes, expressas inicialmente através de previsões e posteriormente de encomendas firmadas, são dados críticos á aplicação da metodologia. Estas necessidades determinam os planos de produção determinando a variedade e quantidades requeridas dos produtos e prazos de entrega assim como as necessidades agregadas e capacidade produtiva.

Saber as quantidades requeridas a produzir vai permitir que a empresa se organize de forma a encontrar o equilíbrio entre a capacidade produtiva de que dispõe e a que a procura requer levando-a a tomar medidas no sentido de satisfazer estas quantidades, considerando e explorando alternativas de flexibilização da capacidade produtiva tais como a subcontratação, horas extraordinárias, entre outras.

Os prazos de entrega das encomendas são um óptimo indicador do funcionamento da empresa pelo que, frequentemente, desrespeitados sugerem a necessidade de novas estratégias de produção para a solução deste problema.

As necessidades de clientes são mais controláveis quando o sistema de comunicação com o cliente permite a regular circulação de informações e a criação de relações sólidas e de confiança mútua. Este relacionamento permite à empresa conhecer, criar e manter a preferência do cliente, isto é, ter vantagem competitiva (Doyle, 1995), sabendo exactamente o que os clientes pretendem e sendo melhor do que os concorrentes.

13. Informações do mercado

Ter vantagem competitiva também implica conhecer o mercado em que a empresa se insere. Os concorrentes fazem parte desse mercado e para ser melhor que eles é necessário conhecê-los fazendo também análises contínuas a estes. Não interessa produzir um produto que os concorrentes oferecem com melhor qualidade e a um menor custo.

A empresa pode ter apenas uma unidade de negócio ou mais do que uma. Pode querer servir um ou vários mercados com um ou mais produtos. Mas existem limites ao número de mercados que uma empresa pode servir porque quando os mercados têm diferentes requisitos e a base da competitividade é muito diferente não é possível, por restrições práticas impostas pela tecnologia e infra-estrutura, a empresa ter a focagem apropriada para atender bem todos os mercados.

Assim, uma empresa que responda a uma procura específica num mercado limitado está mais apta a fazer um bom serviço do que se servir um mercado diversificado. Por isso ao desenvolver uma estratégia de produção a empresa deve conhecer bem o mercado.

Portanto, a aposta deve ser feita naquilo que a empresa tem ou faz melhor no sentido de competir a longo prazo, isto é, apostar nos seus Factores Críticos de Sucesso (FCS) que constituem fontes de vantagem competitiva. A Tabela 5 apresenta alguns exemplos de FCS (Gibson, 1995).

Tabela 5. Exemplos de Factores Críticos de Sucesso

Factor Crítico de Sucesso	Exemplo industrial
Economias de escala na produção	Construção de navios, produção de aço
Economias de escala na distribuição	Cervejeiras
Posse de grandes florestas	Indústria de madeira
Controlo de custos de serviços	Indústria de elevadores
Gama / variedade de produtos	Hipermercados
Projecto	Indústria aérea
Fonte de matéria prima	Petrolífera
Vendas	Automóveis
Capacidade de refrigeração	Gelados

Conhecer os concorrentes é apenas um dos factores que definem a posição da empresa no mercado. Existem outros factores de mercado que determinam a posição estratégica de qualquer empresa sendo alguns relevantes para a definição da estratégia de produção como, por exemplo: a qualidade dos produtos/serviços e a mistura e sazonalidade dos produtos.

A satisfação dos clientes, através da qualidade dos produtos oferecidos, faz com que os clientes comprem mas esta qualidade deve estar sempre assegurada. A mistura e sazonalidade dos produtos obrigam, por vezes, a uma flexibilidade do sistema de produção. Se a esta flexibilidade estiver associada uma rapidez de resposta então um SPOP é aconselhável.

É necessário conhecer ainda os intervenientes na cadeia logística total desde os fornecedores de matéria prima da empresa aos distribuidores e, por último, os consumidores (clientes) porque a empresa está integrada numa cadeia que cria valor para o consumidor e para produzir de forma mais eficiente a empresa deve melhorar não

só a sua produtividade mas também contribuir para melhorar a produtividade de toda a cadeia de valor, isto é, do sistema de actividades ligadas e interdependentes necessárias para adicionar valor ao produto.

A implementação de um SPOP permite conhecer exactamente quais as actividades que intervêm para a produção de determinado produto facilitando assim a identificação da cadeia de valor.

14. Informação tecnológica

A tecnologia inclui novos equipamentos com melhores capacidades tecnológicas, facilidades de redes distribuídas, integração de equipamento e programas, sistemas periciais, bases de dados relacionais, novos sistemas de planeamento e controlo, sistemas de informação, ferramentas de simulação, método manuais ou computadorizados entre outros.

O tipo de tecnologia existente no exterior deve ser do conhecimento da empresa pois essa informação, por um lado, pode dar á empresa oportunidade de adquirir essa tecnologia tornando-se assim mais competitiva. Por outro lado, a rápida mudança nas tecnologias podem contribuir para o declínio de certos produtos e aparecimento de outros. Por exemplo, o caso das potencialidades dos computadores que abriram ou catalisaram novos mercados desde os jogos aos serviços de comércio e correio electrónico. Estes novos mercados podem significar para a empresa a implementação de um novo sistema de produção para produzir novos produtos.

A tecnologia pode advir de empresas do exterior, das ligações com centros de investigação mas também da própria empresa quando esta investe em investigação. Empresas de renome internacional como a Sony e outras investem uma boa percentagem das suas vendas em investigação porque além de contribuírem directamente para a vantagem competitiva da empresa ficam com o conhecimento e domínio total da tecnologia patenteada na empresa (Robert, 1995).

A informação tecnológica pode levar a empresa a pensar em produzir de formas que antes nunca seria possível. Por exemplo, a integração de diferentes processos numa máquina-ferramenta permite a redução dos prazos de fabrico porque elimina a necessidade de movimentação dos produtos entre postos de trabalho. Isto pode conduzir

a empresa a adoptar uma estratégia de produção baseada no tempo de entrega pois com a redução dos prazos de fabrico, esta estratégia pode agora ser viável.

15. Nível operacional

Para a definição da estratégia de produção é também necessário conhecer a situação produtiva actual da empresa e saber o nível operacional presente na empresa porque a definição da estratégia de produção sem este conhecimento pode conduzir a empresa a definir uma estratégia que não será atingida pois não existem condições para o fazer.

Factores como disponibilidade de matéria prima e subconjuntos de montagem, nível de utilização da capacidade, qualidade do controlo de existências, qualidade de manutenção, formação e desenvolvimento, capacidades dos operadores e a organização fabril são factores a ter presente na tomada de decisão. Por exemplo, a disponibilidade de matéria prima pode conduzir à decisão da empresa em criar uma nova fábrica junto das fontes de fornecimento da matéria prima e/ou componentes. Com esta nova fábrica está a necessidade de um novo sistema de produção.

A identificação de problemas que a produção enfrenta e que a empresa deve estar ao corrente pode conduzir a algumas medidas correctivas para solucionar esses problemas podendo nestas medidas estar incluído um novo sistema ou a reengenharia do existente. Por exemplo, se o problema identificado é a alta taxa de defeitos nos produtos oferecidos pela empresa então a implementação de um sistema de Gestão de Qualidade Total (TQM), que assegure que a qualidade é controlada através de toda a organização, pode implicar a reengenharia do sistema de produção existente.

A definição dos planos estratégicos e da estratégia de produção também requer um conhecimento da cadeia de valor. Isto é importante porque, por um lado, o conhecimento deste sistema pode ajudar a identificar os Factores Críticos de Sucesso, encontrando na cadeia de valor as actividades que realmente constituem vantagem competitiva para a empresa (ver Tabela 5). Por outro lado, esta identificação pode conduzir à descoberta de actividades que não acrescentam valor ao produto e que devem ser eliminadas pois contribuem para o aumento dos custos e perda da eficiência.

5.1.2. Restrições ao planeamento estratégico da produção (A11)

O planeamento estratégico tem restrições relacionadas com a própria gestão (C1), com a tecnologia (C2), com os recursos (C3) e com restrições financeiras (C4) (diagrama IDEF₀ da Figura 9).

C1. Restrições de gestão

O desenvolvimento de uma estratégia de negócio e consequentemente a estratégia de produção é restringido pelas forças que afectam o mercado. Segundo Gibson et al. (1995) essas forças podem ser de dois tipos:

1. subjacentes à indústria onde a empresa se encontra inserida e
2. relacionadas com factores industriais exógenos.

As primeiras são as forças equacionadas no modelo de Porter (1980) e que continuam a ser referidas:

- a influência dos fornecedores - uma indústria dominada por apenas um fornecedor é vulnerável ao aumento do preço pois não existem alternativas
- a ameaça de produtos substitutos - isto é, outro tipo de produtos que desempenham a mesma função como o produto actualmente usado como, por exemplo, a substituição de garrafas de vidro por plástico
- a entrada de novos produtores para a indústria - com tecnologia superior ou melhores canais de distribuição
- o poder dos compradores - que podem forçar a descida de preços como por exemplo, um comprador que domine as vendas de uma particular indústria ou que pode facilmente mudar de fornecedor ou ainda que possa fabricar ele mesmo o produto e influenciar os custos e os níveis de investimento através da exigência de um melhor serviço
- a concorrência entre as empresas – que pode conduzir a guerra de preços

Os factores industriais exógenos provêm do ambiente onde a empresa está inserida e incluem:

- factores governamentais - subsídios do governo, medidas alfandegárias, concorrência de empresas governamentais e monopólio do governo

- factores legais - legislação corrente ou futura, impostos governamentais e incentivos
- factores sociais - a pressão de grupos, o poder e a actividade do sindicato e atitudes sociais perante a indústria
- factores tecnológicos - a possibilidade de um produto se tornar obsoleto dentro de um curto período de tempo
- factores globais - aumento do comércio internacional e da concorrência

Tanto as forças implícitas à indústria como as forças relacionadas com os factores externos determinam a rentabilidade da indústria através da influência que têm sobre os preços, os custos e o nível de investimento (Gibson, 1995).

Conhecendo este tipo de influência é do interesse da empresa tentar prever ou antecipar uma mudança significativa dessas forças no sentido de explorá-las tirando daí vantagem e/ou controlar o impacto desta influência através de um planeamento adequado que contemple formas de o atenuar. Por exemplo, fabricar dentro de portas um produto cuja entrega é continuamente feita fora do prazo ou implementar um sistema mais eficiente que permita responder com flexibilidade e rapidez de resposta podendo este sistema ser um SPOP.

O controlo imposto pela gestão também se prende com as informações que resultam da experiência, da filosofia da empresa e dos planos estratégicos anteriores e com um registo contínuo e temporal das actividades da empresa tais como o volume de vendas através do tempo, a capacidade da empresa, a frequência de ocorrências de defeitos e do tipos de defeitos. A utilidade destes dados está associada, por exemplo, a estatísticas de produção, à identificação da sazonalidade dos produtos, ao apoio para tomar medidas preventivas. Esta informação que deve estar registada e actualizada numa base de dados vai restringir a forma de actuação e os planos estratégicos da empresa. Por exemplo, a ocorrência frequente de defeitos pode induzir a empresa a implementar sistemas de qualidade total que pode exigir alterações ao sistema de produção.

C2. Restrições financeiras

Estas restrições prendem-se com a disponibilidade de capital para diversas acções mas principalmente para o investimento. Tal deve ser contemplado no planeamento orçamental e planeamento de investimentos em instalações e equipamento.

C3. Restrições tecnológicas

A empresa pode ter objectivos de melhorar o serviço ao cliente em termos de qualidade dos produtos e em termos de prazos de entrega mas com uma tecnologia, por vezes, obsoleta não consegue oferecer produtos de qualidade, de confiança e baratos e com a rapidez desejada. A empresa pode também pretender estabelecer parcerias com outras mas não tem tecnologia de comunicação para o fazer.

Este tipo de limitações também se prendem com o facto de a empresa pretender produzir determinado produto mas não tem tecnologia para o fazer. Ou ainda pretende implementar um tipo de sistema que emprega tecnologia específica mas a sua aquisição implica investimentos avultados que excede a capacidade financeira da empresa. Isto significa que, por vezes, este tipo de restrições relaciona-se com as restrições financeiras.

Muitas vezes as restrições tecnológicas devem-se, não á inexistência dos componentes de determinado sistema porque esses a empresa possui, mas à falta de integração entre esses componentes sem a qual os componentes tornam-se inúteis ou quando utilizados, a sua utilização é muito inferior ao potencial que quando integrados.

C4. Restrições de recursos

A restrição de recursos manifesta-se em várias dimensões, tais como conhecimento, quantidade e tipo (recursos humanos, equipamentos, informação,...).

Por exemplo, a empresa tem um determinado sistema ou usa determinada tecnologia mas não tem ninguém especializado com conhecimento para o pôr a funcionar ou usar essa tecnologia. Outra situação acontece quando a empresa quer implementar determinado tipo de configuração de sistema de produção (por exemplo, células TG) mas os recursos que possui não lhe permitem instalar essa configuração forçando a empresa a adoptar outra alternativa.

A informação é um tipo de recurso cada vez com mais importância não só porque tal como os outros recursos também precisa de ser gerida mas também porque algumas empresas baseiam as suas produções na informação que recebem minuto a minuto como por exemplo, a empresa Marks & Spencer que possui sete colecções de moda por ano e que dispõem apenas de 35 dias para estudar, desenhar, produzir e comercializar cada colecção (De Meyer, 1992). A informação é importante mas o sistema de produção tem

também um papel crucial neste processo pois é o suporte da produção e só com um sistema flexível e dinamicamente reconfigurável é capaz de dar aquele tipo de resposta.

5.1.3. Mecanismos para o planeamento estratégico (A11)

Algumas ferramentas que auxiliam o desenvolvimento do planeamento estratégico (diagrama IDEF₀ da Figura 9) na recolha e análise das necessidades dos clientes e a informação do mercado são ferramentas comuns usadas pela maioria das empresas como análises de mercado (M1) e inquéritos aos clientes (M2) quando pretendem introduzir novos produtos ou pretendem saber a opinião do cliente sobre determinado produto e modelos de previsão de procura (M3) cujo objectivo é de tentar prever ou antecipar as necessidades dos clientes.

Existe ainda um conjunto de ferramentas que também podem ajudar nesta fase como Análise SWOT, Análise de Valor, *Quality Function Deployment*, *Benchmarking* e a implementação das normas ISO 9000. Estas ferramentas ajudam na determinação do posicionamento estratégico da empresa, na tradução das necessidades dos clientes nas especificações da empresa e no reconhecimento de situações na empresa que requerem alteração ou concepção do sistema de produção. De seguida faz-se uma descrição sumária destas ferramentas e tenta-se mostrar como contribuem para o desenvolvimento desta actividade.

M4. Análise SWOT

Uma análise SWOT¹⁶ pode ser uma ferramenta útil para identificar quais os pontos fortes (S), os pontos fracos (W), as oportunidades (O) e as ameaças (T) da empresa.

Os pontos fortes de uma empresa são recursos ou capacidades que podem ser utilizadas efectivamente para encontrar os objectivos da empresa, os pontos fracos são limitações, falhas ou defeitos dentro da empresa, oportunidades representam situações favoráveis no ambiente circulante da empresa, por exemplo alterações nas leis que afectam a indústria, novas tecnologias, novas necessidades do mercado e ameaças são condições desfavoráveis que se podem tornar arriscadas para a empresa.

¹⁶ Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats.

Um exemplo adaptado de Nyman (1992) reflecte como funciona esta ferramenta (Figura 10). Incluída nesta análise poderá estar informação sobre o mercado, os recursos financeiros da empresa, capacidades de introdução de novas tecnologias, existências, sistemas de distribuição e publicidade, concorrência, pesquisa e desenvolvimento, impactos ambientais, detalhes históricos e imagem da empresa.

S		W	
Pontos fortes	Imagem forte durante 25 anos	Pontos fracos	Longos prazos de entrega
	Um dos líderes		Imagem de preços prémio
	Empresa internacional		Novos projectos tardios, ciclo de desenvolvimento longo
	Linha do produto extensa		Custos mais elevados do que os concorrentes
	Distribuição alargada		Alguns problemas de qualidade
	Vendas directas		
O		T	
Oportunidades	A tendência de automatização requer mais deste produto	Ameaças	Muitos concorrentes com igual ou maior cota de mercado
	45% de distribuidores concorrentes dispõem-se a distribuírem o produto		Mercado cresce mais depressa que a empresa
	Interesse de muitos investidores		Alguns segmentos de mercado com crescimento rápido requerem períodos longos de aceitação de especificações
	Muitos clientes potenciais identificam a entrega como factor essencial para comprar		Resistência interna à mudança

Figura 10. Exemplo de uma análise SWOT (adaptado de Nyman, 1992)

A identificação dos pontos fortes e dos pontos fracos ajuda a definir os objectivos estratégicos da empresa, fazendo tudo para manter esses pontos fortes e eliminar os pontos fracos. As oportunidades identificadas indicam á empresa em que sentido deve caminhar. Por sua vez, as ameaças alertam a empresa e permitem que esta se prepare reduzindo-as ou evitando-as.

No caso apresentado na Figura 10, pode ver-se que se a empresa apostar no serviço rápido das entregas pode vir a aumentar as vendas que é uma oportunidade identificada. O SPC pode reduzir o tempo de produção fazendo a resposta aos clientes mais rápida. Um dos pontos fracos apontado tinha sido, precisamente, o de longos prazos de entrega pelo que a redução dos tempos de produção introduzida pelo SPC também ultrapassa este problema.

As ameaças do exemplo também sugerem que a empresa tem dificuldade em manter a cota de mercado particularmente em mercados a crescer rapidamente. Os SPC também

contribuem para a redução de existências, libertando capital para investir na expansão, no desenvolvimento do produto e na inovação de produtos.

M5. Análise de Valor

O objectivo da Análise de Valor é acrescentar valor ao produto que existe ou vai ser concebido atendendo aos requisitos dos clientes. Normalmente aplicada a produtos existentes tem sido aplicada aos produtos na sua fase de projecto através de uma variante desta técnica, a Engenharia de Valor (Gibson, 1995).

A técnica consiste numa série de passos que muito sumariamente são descritos como:

- a) definir o produto a ser analisado (por ex.: um produto com poucas vendas)
- b) recolher os dados (por ex.: reacções dos clientes, vendas, problemas da produção,...)
- c) análise critica - série de questões sobre todos os aspectos do produto: quem utiliza?, para quê?, onde?, como? e porquê?
- d) especulação - usar a informação de c) para formar sugestões sobre causas e ideias para melhoramento
- e) análise e avaliação de viabilidade e custos das ideias sugeridas
- f) escolha e recomendação
- g) implementação

Esta técnica mostra que podem ser realizadas mudanças de projecto (no produto e no processo) de forma a melhorar a resposta ao cliente aumentando a satisfação deste e a tornar mais eficiente o processo de acrescentar valor ao produto reduzindo ou eliminando as actividades que não acrescentam valor. Desta forma um aspecto a considerar é, por certo, a adopção de um Sistema de Produção Celular porque sendo as células constituídas para um produto ou família, só as actividades directamente relacionadas com a produção do produto em causa são consideradas e, uma vez, as células implantadas torna-se mais fácil identificar na célula as actividades que não acrescentam valor ao produto.

M6. Quality Function Deployment

Segundo De Meyer (1992) *Quality Function Deployment* (QFD) é um conjunto de técnicas para determinar e transmitir os requisitos do consumidor e traduzi-los em especificações para concepção de produtos e serviços e em métodos de produção.

Courtois (1996) considera que QFD é uma ferramenta importante para definir de forma adequada as expectativas do cliente em especificações internas da empresa ao longo do desenvolvimento do produto.

Esta ferramenta usa uma série de matrizes chamadas de casas por causa da sua forma (Figura 11). Cada casa é uma matriz com os requisitos no lado esquerdo e as características que preenchem estes requisitos no topo.

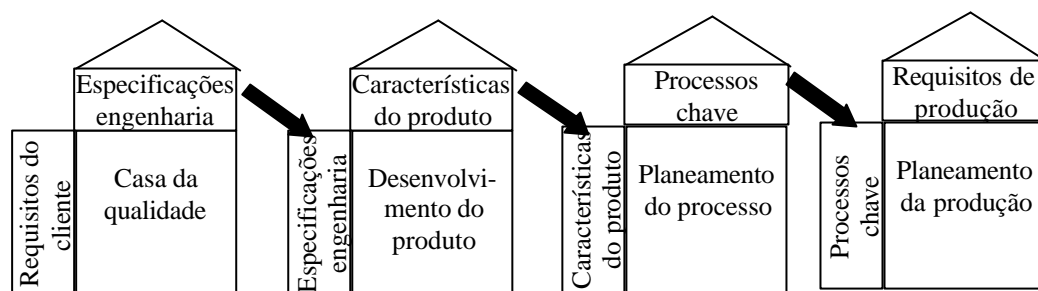


Figura 11. Matrizes de *Quality Function Deployment* (Nyman, 1992)

O processo começa pela esquerda da figura, com a “casa da qualidade”. Esta matriz traduz os requisitos do cliente em especificações de engenharia. As células das matrizes são preenchidas quando as especificações emparelham com os requisitos, isto é, quando a um requisito corresponde uma especificação existente. Se isto não acontece importa saber o quanto este requisito é importante para o cliente e o quanto vai custar á empresa satisfazê-lo ou não (Nyman, 1992).

Como se pode observar pela figura as saídas da primeira matriz são as entradas da segunda e assim por diante. Uma vez definidas as características do produto os processos de produção são preparados para consegui-las, podendo estar implícito nesta preparação a mudança do sistema existente ou a implementação de outro sistema, nomeadamente Sistemas Orientados ao Produto. Embora se possam manifestar desde o início do processo de QFD, é nas duas últimas “casas” que a pertinência dos SPOP se manifestam mais fortemente.

M7. Benchmarking

Segundo Gibson et al. (1995) *Benchmarking* é um método que permite às empresas compararem o seu desempenho com uma empresa ou unidade organizacional reconhecida como sendo a melhor numa dada actividade, função ou capacidade importante ao próprio sucesso da empresa que procura tornar-se melhor.

Neste sentido este mecanismo pode levar a empresa a adoptar determinada estratégia porque reconhece que foi essa estratégia que levou a empresa de referência ao sucesso. Não sendo um processo fácil de conseguir permite, pelo menos que a empresa conheça as melhores práticas externas e contribui para o enquadramento da empresa no mercado (Nyman, 1992).

M8. ISO 9000

As ISO 9000 (ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003, ISO 9004) são um conjunto de normas de qualidade que tem como objectivo avaliar se a empresa é capaz de produzir os seus produtos de acordo com determinadas especificações, desde a sua concepção até à assistência pós venda e cuja implementação conduz á certificação da empresa (Peach, 1992).

A certificação de uma empresa por estas normas significa que existe na empresa garantia da qualidade do processo de fabrico. Para conseguir esta certificação, a empresa deve cumprir requisitos estabelecidos pelas normas pelo que a implementação destas ajuda a empresa a definir o futuro no sentido que a “obriga” a repensar e a reorganizar o seu funcionamento (Nyman, 1992).

5.1.4. Saídas do planeamento estratégico da produção (A11)

No planeamento estratégico tomam-se decisões no sentido de cumprir os objectivos empresariais e de satisfazer as necessidades dos clientes. A concretização destas decisões estratégicas só são possíveis através da definição de estratégias de produção. Esta definição implica a organização da produção em termos do modo de produção, da variedade de produtos e necessidade de flexibilidade.

Um aspecto importante do planeamento estratégico da produção é a definição dos recursos de produção e em particular da capacidade produtiva necessária para os próximos anos que deve estar ponderado nos planos estratégicos e de produção agregada.

Assim resultam desta actividade os planos estratégicos, os planos de produção agregada e a estratégia de produção que são relevantes para a identificação e selecção do tipo de sistema de produção mais adequado (diagrama IDEF₀ da Figura 9).

01. Plano Estratégico

O plano estratégico (PE) é um registo da actividade geral da empresa para, tipicamente, os próximos dois ou mais anos com base na previsão da situação económica e política geral, na situação em sectores industriais relevantes, na avaliação da cadeia logística externa e em considerações de competitividade (Silva, 1997b). Este plano, em termos produtivos, deverá no mínimo equacionar a necessidade de:

- Produzir as quantidades planeadas
- Estabelecer uma política de prazos
- Fazer a utilização eficiente dos recursos de produção
- Equilibrar a produção, isto é, a quantidade com a capacidade para níveis de competitividade desejados

Tal equacionamento origina o plano de produção (PP), normalmente baseado na agregação da procura em famílias de produtos com correspondência estreita às famílias comerciais.

02. Plano de Produção

O plano de produção também designado frequentemente por plano de produção agregada é, portanto, a parte do PE onde se refere a procura na base das previsões apresentando-se as quantidades agregadas de cada família de produtos a ser produzida (Vollman, 1997). Este plano relaciona os planos estratégicos com a produção e consequentemente com o sistema de produção que deve ser capaz de assegurar a produção das famílias que a empresa se comprometeu a produzir.

O plano de produção obedece às orientações do plano estratégico, de que faz parte, e factores como: taxas de produção, stocks, sazonalidade e políticas de prazos, utilização de níveis e tipo de capacidade consistentes com a estratégia de uso de recursos adoptada pela empresa, definição do período e horizonte de planeamento agregado e definição de famílias de produtos são equacionados.

O método e as unidades de agregação são dependentes da natureza do produto. A estratégia de agregação consiste, principalmente, em:

- a) Definir famílias de produtos ou que partilham os mesmos meios de produção ou consomem os mesmos tipos fundamentais de recursos: células, máquinas, veículos,

mão de obra. Em certos casos a agregação pode fazer-se com base em famílias comerciais ou com base nos custos de produção ou de artigo.

- b) Determinar a unidade de agregação que pode ser unidades do produto real, por exemplo um dos produtos da família ou de um produto fictício, que serve para estabelecer o plano das necessidades de produção, isto é, as quantidades de produto e de capacidade. O que se faz é normalizar as quantidades de produção dos diferentes artigos em relação às unidades adoptadas de agregação.

As famílias de produção relacionam-se com o sistema produtivo e com a possibilidade da desagregação para efeitos de produção e elaboração do Plano Director de Produção (PDP). O PDP é constituído por uma série de quantidades, distribuídas no tempo, de cada produto que a empresa vende ou produz indicando quantos e quando irão ser necessários esses produtos. A necessidade destes produtos resulta assim da desagregação do PP, das previsões, das encomendas firmes dos clientes e das existências de produtos.

O3. Estratégia de Produção

O objectivo da estratégia de produção é alinhar a produção com as necessidades do negócio e ajudá-lo a competir ao longo do tempo, definindo o conjunto de iniciativas para atingir os objectivos empresariais incluídos na estratégia de negócio.

A estratégia de produção pode seguir, assim, diferentes objectivos reflectindo-se naquilo que tem mais valor para o cliente: qualidade, prazos de entrega, eficiência de custos ou satisfação personalizada dos requisitos dos clientes (De Meyer, 1992), sendo determinante para a identificação do sistema de produção e da tecnologia a adoptar.

Uma estratégia de produção referida por Oden (1994) é a Estratégia de Resposta à Procura (ERP) que define como uma empresa responde á procura em termos de variedade de produtos e tempo de entrega. Outros autores, nomeadamente, Vollman et al. (1997) e Higgins et al. (1996) referem-se a esta estratégia como abordagens ou ambientes para construir o Plano Director de Produção. O leque de respostas inclui a Engenharia por Encomenda, o Fabrico por Encomenda, o Fabrico para Stock, a Montagem por Encomenda e o Fabrico por Procura.

A selecção da ERP está condicionada às características do produto e às características relacionadas com a competitividade do mercado no que concerne aos tempos de

resposta (Oden, 1994) e cada ERP requer um determinado tipo de sistema que assegure a sua forma de responder à procura, sendo assim relevante para a identificação e selecção do tipo de sistema de produção.

Engenharia por Encomenda (EPE)

Nesta estratégia nada está armazenado no sistema de produção nem mesmo os produtos protótipo pois os produtos nunca foram produzidos na empresa. O cliente pede ao produtor um orçamento sobre o custo e o tempo para executar determinado produto podendo este orçamento ser ele próprio complexo e caro. Quando o cliente coloca a encomenda, o produtor desenvolve o projecto para aquele produto o que pode envolver um tempo e despesa considerável. Depois o cliente aceita (ou não) o projecto e então é que são encomendados os materiais. O produtor assegura a fabricação completa e a expedição para o cliente.

Um exemplo de utilização desta estratégia verifica-se em empresas que produzem quantidades reduzidas com elevada variedade de novos produtos (Oden, 94). Esta estratégia aplica-se a produtos que são novos ou únicos tal como projectos de investigação e desenvolvimento, pontes e navios.

No exemplo acima referido, se a mesma empresa produzir produtos repetitivos, isto é, produtos que foram produzidos pelo menos uma vez, a estratégia a utilizar não deve ser a Engenharia por Encomenda mas o Fabrico por Encomenda.

Fabrico por Encomenda (FPE)

Nesta estratégia apenas os projectos dos produtos e algumas matérias primas se encontram armazenados pois é muito difícil prever as necessidades exactas do cliente. As actividades de processamento dependem da encomenda do cliente. O ciclo de encomenda começa quando o cliente coloca uma encomenda especificando o ou os produtos que pretende. O produtor estabelece um preço e um tempo de entrega de acordo com o pedido do cliente que se dispõe a esperar algum tempo.

O cliente e o produtor frequentemente discutem as alternativas para reduzir o custo e o prazo de entrega e esta redução é procurada através da sobreposição de programas para o projecto e produção dos vários elementos que compõe as encomendas dos clientes. Normalmente, são produzidas pequenas quantidades de cada tipo de produto mas com

uma variedade elevada e com reduzida concorrência em termos de tempo de resposta com produtos individualizados.

Esta abordagem é frequentemente usada para servir mercados caracterizados por elevados níveis de mudanças do produto e novas introduções de produtos onde a vantagem competitiva está em fornecer requisitos de tecnologia de produto associado a requisitos de entrega e qualidade acordados com o cliente.

Exemplo de empresas que usam esta estratégia são empresas que produzem um produto individualizado como computadores para investigação, veleiros, rebocadores e peças de substituição.

Montagem por Encomenda (MPE)

Aqui todos os módulos ou submontagens estão disponíveis em stock. Quando o cliente encomenda um produto, o produtor monta os módulos e despacha o produto final para o cliente fazendo diminuir o prazo total de fabricação. Esta estratégia é usada normalmente por empresas que têm produtos modulares com um número de produtos finais com módulos comuns.

Na prática, a procura para os módulos pode ser prevista com mais precisão do que a procura dos produtos finais. Assim estas empresas podem responder á procura mais eficientemente pela previsão e armazenagem dos módulos fazendo depois a montagem do produto final.

Esta estratégia tem o objectivo de encurtar prazos de fabrico e é vantajosamente combinada com a chamada produção modular.

Empresas que usam a MPE são, por exemplo, as empresas de automóveis, empresas de empilhadores com opções de tipo de motor, velocidade, equipamento de segurança.

Fabrico para Stock (FPS)

O produtor, nesta estratégia, armazena o produto final para expedição. O ciclo de encomenda começa com a especificação da quantidade do produto pela empresa, dependente das previsões, com a aquisição dos materiais e produzindo para stock. Se o preço e a qualidade são aceitáveis para o cliente, este compra o produto.

As principais operações focam-se na reposição do stock. O nível actual de produção pouco tem a ver com o nível de encomendas recebidas. Normalmente, as empresas que

seguem esta estratégia produzem por lotes tendo armazenados quase todos, senão todos, os produtos finais.

Exemplos de empresas que seguem esta estratégia são aquelas que produzem tipos de produtos como os bens de consumo e mercadorias. Estes têm forte concorrência em termos de tempo de resposta e devem estar disponíveis quando os clientes os procuram pois não esperam pela sua produção, comprando-os onde estiverem disponíveis.

Fabrico por Procura (FPP)

Segundo Oden (1994), esta é uma estratégia flexível que entrega o produto com a qualidade e no tempo desejado pelo cliente. O produtor fabrica por encomenda mas consegue entregar o produto ao cliente quase com a mesma rapidez que na estratégia de Fabrico para Stock. Pode usar qualquer combinação das outras estratégias que são necessárias para atender à procura. Dependendo da situação competitiva, projectos, matérias primas, componentes, montagens ou produtos acabados podem manter-se em stock. Este tipo de resposta tem evoluído como uma reacção á ênfase dada à concorrência baseada no tempo.

Vollmann et al. (1997) refere-se ao Fabrico por Procura como um conceito alargado da Gestão da Procura porque resulta do conhecimento das necessidades da empresa cliente pela empresa fornecedora. A cadeia de fornecimento é construída entre determinados fornecedores e clientes de forma a melhorar a competitividade da cadeia total.

O cliente permite que o fornecedor conheça a previsão da procura, conheça o conjunto das encomendas actuais e conheça ainda o nível das existências e o programa de produção. Esta informação permite ao fornecedor saber exactamente quando o cliente encomenda e não apenas ter uma previsão sobre quando isto pode acontecer. Este conhecimento é possível devido à troca de dados electrónica (EDI)¹⁷. O exemplo desta estratégia existe nalguns grandes supermercados e os seus fornecedores.

Esta estratégia é semelhante à relação cliente – fornecedor requerida pelo controlo JIT - *pull* quando implementado na prática. Segundo Cheng e Podolsky (1996) esta relação é mais do que um simples contrato porque um contrato é um documento legal que é usado para lembrar os termos do acordo e o estabelecimento deste tipo de relação envolve conceitos de confiança e alcance de objectivos comuns de crescimento e lucro.

¹⁷ Electronic Data Interchange

Isto é conseguido através do desenvolvimento de acções da empresa cliente, que ajudam o fornecedor a assegurar correctamente os requisitos do cliente e de mecanismos para comunicação entre as partes envolvidas, como a tecnologia EDI (Cheng, 1996).

A Tabela 6 procura realçar os aspectos mais importantes que caracterizam os tipos de estratégias referidas.

Tabela 6. Características da Estratégia da Resposta à Procura

Estratégia de Resposta à Procura (ERP)	Engenharia por encomenda (EPE)	Fabrico por encomenda (FPE)	Fabrico por Procura (FPP)	Montagem por encomenda (MPE)	Fabrico para stock (FPS)
Destino dos produtos	Encomenda	Encomenda	Variável	Stock dos módulos	Stock
Tempo de espera pelo cliente	Elevado	Elevado	Variável	Reduzido/médio	Nenhum
Variedade dos produtos	Infinita	Elevada	Alguma	Elevada	Reduzida
Natureza do produto	<i>One of a kind</i>	Alguns de um tipo	Produtos flexíveis	Produtos modulares	Bens de consumo
Procura	Imprevisível	Imprevisível	Imprevisível	Previsível apenas para os módulos	Previsível
Concorrência em tempo de resposta	Nenhuma	Pouca	Variável	Moderada	Forte
Satisfação de encomendas	Dependente da capacidade	Dependente da capacidade	Dependente do que estiver em stock	Dependente de componentes e submontagens	Dependente de produtos finais
Estrutura de BOM	Únicos e criados para cada cliente	Únicos e criados para cada cliente	Únicos e criados para cada cliente	Planeados	Normalizados
Base para plan. e programação da produção	Encomendas	Compromissos e encomendas	Encomendas	Previsões e compromissos	Previsões
Quantidade de produção	Muito reduzida	Reduzida	Variável	Média	Elevada
Contacto entre produção e cliente	Ao nível da engenharia	Ao nível da engenharia e vendas	Variável	Ao nível das vendas	Reduzido/distante

Um aspecto importante relacionado com as estratégias é o ponto de colocação da encomenda pelo cliente que é diferente para cada tipo de estratégia. Este ponto define o momento a partir do qual os materiais são dedicados a uma particular encomenda (Higgins, 1996). Na Figura 12 pode ver-se que de acordo com o tipo de estratégia a encomenda é colocada em diferentes fases do produto e a proporção da produção baseada em previsões ou encomendas varia substancialmente.

A posição do ponto de colocação determina o tipo de resposta da empresa ao mercado e o nível de interacção entre a produção e o cliente. Quanto mais a montante o ponto estiver (no caso de Engenharia por Encomenda) mais interacção existe, uma vez que

todas as operações abaixo do ponto são directamente dirigidas à satisfação de uma particular encomenda.

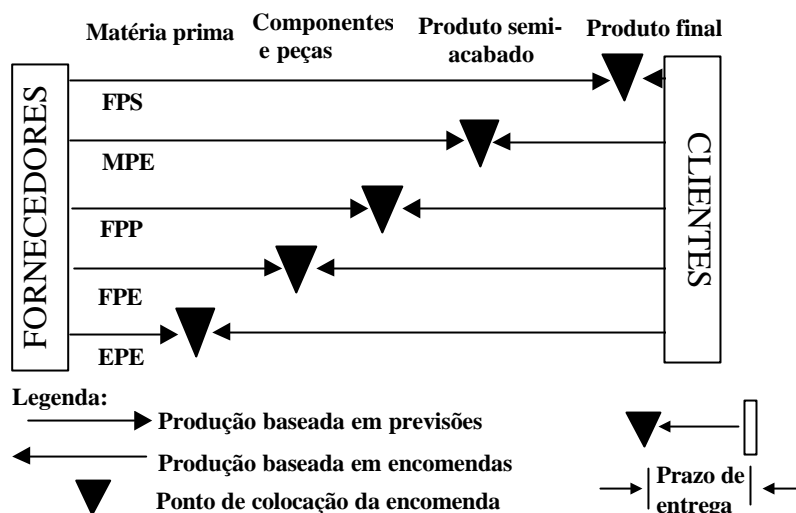


Figura 12. Ponto de colocação da encomenda (adaptado de Higgins, 1996)

A posição do ponto de colocação fixa o tempo de entrega mínimo com que a empresa responde aos clientes e o factor de risco a que a empresa fica exposta. Isto significa que quanto mais a jusante o ponto de colocação se posicionar, mais depressa a empresa terá de responder aos clientes e maior será o risco de obsolescência dos artigos cuja produção depende mais de previsões, do que de encomendas firmadas.

O ponto de colocação da encomenda pode também, ser assim um marcador que separa a fase do investimento da fase da realização. Dentro da fase do investimento as operações são executadas tendo em conta a procura prevista. Na fase da realização a produção responde a encomendas firmes. Assim o Fabrico para Stock (FPS) situa-se na fase do investimento enquanto que o Fabrico por Encomenda (FPE) situa-se na fase da realização. No caso da Montagem por Encomenda (MPE), o ponto de colocação de encomenda situa-se entre a produção dos módulos, largamente baseada nas previsões e a montagem final, baseada nas encomendas. Segundo Higgins (1996) a maioria das empresa situam-se à volta desta estratégia e a evolução é no sentido do Fabrico por Encomenda.

O investimento em recursos e a entrega dos produtos ao cliente com as características desejadas estão, assim, subjacentes à estratégia a seguir pela empresa que deve estar em consonância com a estratégia do negócio e com o que foi prometido pela função de marketing.

5.2. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ACTUAL (A12)

A análise da situação actual verifica que tipo de sistema está presentemente em operação e que necessidades de produção se manifestam ou se prevê que se manifestem num futuro próximo. Assim, o estado actual da tecnologia, a natureza do produto, a complexidade das tarefas, as quantidades de produção por produto são criticamente analisadas, verificando-se ainda qual o nível operacional fornecido tendo em vista identificar áreas que requerem melhoria ou novos sistemas e abordagens à produção.

Basicamente esta actividade identifica os produtos, em termos de matéria prima e componentes, os processos, os recursos e os sistemas, evidenciando também os produtos mais importantes para a empresa em termos de valor e em termos de quantidades de produção. Para os produtos produzidos na empresa pode-se ainda identificar os roteiros e o tamanho do lote. Para os produtos produzidos fora, é necessário conhecer os subcontratados e a forma de operar destes (por exemplo, se costumam atrasar as encomendas).

A importância desta análise resulta, por um lado, da necessidade de conhecer os produtos, o funcionamento e o desempenho da empresa e, por outro lado, classificar, se possível, o tipo de fábrica. Isto é importante no Projecto Conceptual e posteriormente no Projecto Detalhado. Alguns dos resultados desta análise entram no planeamento estratégico da produção (A11).

5.2.1. Entradas à análise da situação actual (A12)

A informação fabril requerida para esta actividade (diagrama IDEF₀ Figura 9) consiste em dados que podendo mudar, fazem-no com reduzida frequência sendo, por isso, relativamente simples manter o seu registo preciso numa base de dados. Estes dados são relativamente estáveis e não evoluem a não ser que se criem novos produtos ou se alterem os produtos existentes, processos ou recursos.

A informação fabril pode encontrar-se em todos os sectores da empresa, sendo algumas fontes deste tipo de dados as listas de materiais, os projectos das peças, as listas das instalações, os planos de processo, as listas de recursos humanos.

II. Informação fabril

Produtos

Normalmente, cada produto tem uma estrutura ou nomenclatura própria. Uma nomenclatura é uma lista hierarquizada e quantificada dos artigos que entram na composição de um produto (Figura 13). É designada também de lista de materiais ou BOM devido à terminologia inglesa - Bill of Material. A BOM apresenta níveis, onde cada nível representa uma fase na produção do produto final. O nível mais alto, nível 0, representa a última montagem. Os níveis inferiores representam fases intermédias.

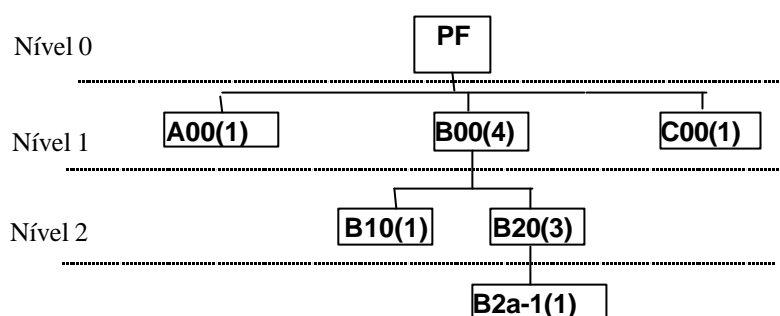


Figura 13. Estrutura do produto PF

Na Tabela 7 encontram-se classificados alguns dados sobre as peças que é necessário considerar e recolher.

Tabela 7. Classificação de dados de peças (adaptado de Silva, 1988)

Dados organizacionais	Dados físicos	Dados tecnológicos
Tamanho do lote	Geometria	Processos de fabrico
Variedade de peças	Forma:	Ferramentas
Procura	para manuseamento	Material
Valor da peça	para processamento	Precisão
Tempo de processamento	Dimensões iniciais	Acabamento
Plano de processo	Dimensões finais	Complexidade de transformação
Operações:	Peso	Faces
Quantidade, tipo	Espessura	Contornos
Duração	Cor	Tolerância
Sequência	Tipo de matéria prima	Dispositivos de fixação e posicionamento
Qualidade		
Local de armazenagem		

Os custos para cada peça devem ser conhecidos, tais como, o custo directo unitário, o preço estimado para subcontratar a produção de uma peça, o custo de transporte entre outros.

A tabela seguinte (Tabela 8) resume alguns dos dados que possibilitam a identificação dos produtos e das peças.

Tabela 8. Dados para identificação dos produtos e peças

Identificação dos produtos	Identificação das peças
Código	Código
Designação	Designação
Tipo	Quantidade por produto
Listas de peças	Função
Listas de variantes	Tipo de material
Listas de opções	Forma do material
Centros de trabalho	Dimensão
Estrutura	Origem/destino

A existência de códigos facilita a pesquisa e a manipulação dos dados. Estes códigos devem ser preferencialmente analíticos (Courtois, 1996), pois estes facilitam a concepção de sistemas de produção celulares permitindo uma abordagem baseada em codificação e classificação à formação das células.

A identificação de famílias de produtos é relevante pois estas podem servir de base à formação das células. O modo de produção destas famílias, por exemplo se são produzidas em lotes de peças iguais ou misturados é também relevante, nomeadamente para a necessidade de outras ferramentas.

Recursos

Os recursos nas empresas podem ser materiais, meios, recursos humanos, informação e capital. Os materiais incluem os primários como a matéria prima e os componentes e os auxiliares como a energia, os óleos de lubrificação entre outros. A informação representa o conhecimento necessário para eficazmente implementar o processo produtivo.

Os meios incluem os meios directos como o equipamento principal: máquinas-ferramentas, máquinas CN ou centros de maquinagem CNC e equipamento auxiliar como ferramentas, paletas, sistemas de posicionamento e manuseamento, sistemas de transporte e os meios indirectos como todas as infra – estruturas, edifícios e armazéns.

Tal como os produtos, se as máquinas tiverem um código torna-se mais simples a pesquisa e a manipulação e sendo esse código analítico pode ainda possibilitar uma classificação das máquinas contribuindo para uma identificação das máquinas e das suas possibilidades.

O tipo de máquina e o número existente de cada tipo, as operações que executam, sequencialmente ou simultaneamente são dados relevantes para a formação das células pois deles dependem a possibilidade de formação de uma célula/linha ou várias células/linhas e a configuração para o SPOP.

Os dados económicos sobre as máquinas tais como o custo de aquisição, o custo de operação entre outros são também importantes pois a replicação das máquinas pode depender desses custos.

Além dos dados referidos é necessário ainda saber a capacidade das máquinas e o tempo disponível para produção para possíveis cálculos de carga.

A implantação da instalação fabril com os arranjos do equipamento e o seu posicionamento relativo, com a área ocupada e disponível também deve ser conhecida para que no momento de escolher implantações intracelulares e intercelulares, as escolhas correctas sejam realizadas.

Os recursos humanos são os elementos mais preciosos na empresa pois eles são capazes de uma flexibilidade que as máquinas não possuem. Para a formação das células e principalmente para algumas configurações, esta flexibilidade é importante, por exemplo, na adaptação a diferentes ambientes produtivos.

Além das informações básicas é necessário, assim, recolher um conjunto de informações relacionados com o tipo ou tipos de operações que podem desempenhar, tipo ou tipos de máquinas que podem manobrar, a sua polivalência, a sua resistência à mudança e à mobilidade, a sua capacidade de adaptação e relacionamento com outros e a taxa de absentismo pois são dados relevantes para a formação das equipas que vão trabalhar nas células.

Se existir um plano de formação para as pessoas também deve ser conhecido porque na implementação de uma nova configuração isso pode ser exigido e estando já programado não é necessário despendar mais esforços na sua organização.

Nas células, principalmente nas células não automatizadas o envolvimento e comportamento das pessoas é muito importante. As pessoas, nalgumas configurações das células, são elementos chave integradas numa equipa de trabalho em que o balanceamento das células é baseado no número de pessoas afecto à célula, se alguma

das pessoas falta então novo balanceamento tem de ser realizado ou nova pessoa deve ser introduzida. Em ambos os casos há alguma perturbação no funcionamento da célula.

A qualidade dos produtos produzidos nas células também é da responsabilidade de todas as pessoas envolvidas na célula pelo que todas devem estar conscientes desta responsabilidade.

Processos

Um processo é constituído por um número de operações através das quais a matéria prima é transformada em produto acabado (Wang, 1991). Exemplos de processos são: maquinagem, montagem, soldadura entre outros. Alguns exemplos de operações são: fazer um furo, coser uma manga de uma camisola e curvar um tubo.

Os dados sobre os processos de fabrico estão contidos em planos de processo ou em roteiros de fabrico. Num plano de processo podem encontrar-se discriminados os seguintes itens:

- Nome e número da peça a ser produzida;
- Nome e número das operações envolvidas no fabrico da peça;
- Tempo que demora cada operação;
- Sistema de fixação, posicionamento e manuseamento;
- Ferramentas usadas;

Além destes, outros itens podem incluir-se no plano de processo como:

- Local onde começam as operações e onde acabam;
- Centros de trabalho requeridos (nome e código);

As operações envolvidas no fabrico da peça devem estar numeradas sequencialmente. Todas as operações realizadas em máquinas ou centros de trabalho diferentes devem ter números de operação diferentes.

A preparação do plano de processo faz parte da função do planeamento de processos. Normalmente, o plano de processo existe nas empresas apenas variando muitas vezes o grau de detalhe de empresa para empresa, existindo ainda, por vezes, planos de processo alternativos para os produtos.

5.2.2. Mecanismos para análise da situação actual (A12)

As ferramentas ou meios a usar durante esta actividade, incluem fundamentalmente: bases de dados, planos de processo, listas e tabelas, gráficos de processo, fluxogramas operatórios, sistemas de codificação e classificação, análise ABC e análise Produto/Quantidade (diagrama IDEF₀ da Figura 9).

Dependendo da forma como a empresa tem os dados e a informação armazenada e da forma como pode ser acedida, o desenvolvimento desta actividade pode realizar-se facilmente ou tornar-se uma tarefa exaustiva. A existência de bases de dados, de planos de processo, de listas e tabelas ajudam a encontrar mais rapidamente os dados necessários. Os gráficos de processo e os fluxogramas na empresa facilitam o processo de identificação dos fluxos de material, dos recursos e da informação. Mesmo que algumas destas ferramentas não existam com conteúdo, na recolha das informações e organização dos dados a utilização de algumas delas é indispensável.

A existência de um sistema de codificação e classificação dá informações sobre as famílias de peças, permite a selecção automática de peças normalizadas, de máquinas-ferramentas, de ferramentas e dispositivos de fixação, permite a geração automática de detalhes de custos, de prazos de fabrico, de sequências de processamento de cada peça e informação de encomendas e afectação de material (Rembold, 1985). Constitui um meio precioso para reunir a informação necessária nesta actividade.

A análise Produto/Quantidade é bastante semelhante à análise ABC utilizada nos modelos de aprovisionamento baseada na chamada Lei de Pareto. Como o nome sugere a análise P/Q ordena as quantidades dos produtos por tipo de produto ou por tipo de destino (clientes) (Sekine, 1990). Este tipo de análise é, também, por vezes, designado de análise ABC por quantidade.

Durante o desenvolvimento desta actividade, esta ferramenta pode ajudar na identificação dos produtos que mais contribuem para o fluxo produtivo da empresa, na identificação das famílias de produtos e na identificação dos produtos que são mais representativos em termos de valor (análise ABC por valor).

5.2.3. Saídas da análise da situação actual (A12)

A identificação do tipo de sistema necessário não deve fazer tábua rasa da situação actual da empresa. Na verdade, não pode relativamente à necessidade de produção

imposta pelo mercado, a nível do que e quanto deve ser produzido. Mas não deve também relativamente aos meios disponíveis e sistemas existentes. É a partir daqui que decisões importantes têm de ser tomadas relativamente à reengenharia ou substituição do sistema de produção.

Assim as saídas desta actividade devem fornecer a situação actual da empresa quer em termos de produtos, processos e recursos quer em termos de nível operacional fornecido e actividades desempenhadas e a classificação do tipo de fábrica (diagrama IDEF₀ da Figura 9).

01. Situação actual da empresa

O resultado desta actividade é a situação actual da empresa obtendo-se a identificação das peças e dos produtos e sua estrutura, a identificação do equipamento e pessoas, o conhecimento dos processos existentes na empresa e a capacidade produtiva da empresa. Alguns exemplos de elementos importantes para caracterização da situação actual e que se relacionam com as identificações referidas são:

- Tempo de processamento
- Tempo de inspecção
- Tempo de preparação
- Espaço total disponível
- Tamanho do lote
- Capacidade das máquinas
- Utilização máxima das máquinas
- Número de máquinas disponível por tipo de máquina
- Distâncias
- Capacidade do operador (polivalência)
- Fluxos de materiais, pessoas e informação

Todos os dados relativamente aos custos devem também estar devidamente organizados e fazer parte das saídas desta actividade pois são relevantes para futuras avaliações de alternativas. Alguns exemplos desses custos são: custos com o processamento das peças, custos de ferramentas, custo de máquinas, custo de salários e custos de subcontratação.

Na situação actual também deve estar definido o nível operacional fornecido com a constatação de possíveis problemas e a identificação do sistema de actividades da cadeia

de valor que constituem uma das entradas na actividade anterior do planeamento estratégico da produção (A11). O nível operacional é caracterizado por:

- Tempos de manuseamento de materiais
- Tempos de filas de espera
- Tempos de entrega
- Níveis de qualidade
- Níveis de trabalho em curso de fabrico
- Nível de utilização de capacidade
- Tecnologia usada

Esta análise permite também observar eventuais problemas operacionais que possam existir na empresa, como por exemplo: ocorrência de determinado tipo de defeitos, tempos de preparação muito elevados, elevada taxa de defeitos, níveis de trabalho em curso de fabrico elevados entre outros e portanto indicar áreas que requerem melhorias e cuja solução pode passar pela implementação de um novo sistema.

A identificação correcta e a ligação efectiva das actividades pertencentes à cadeia de valor deve ser realizada pois pode promover uma boa coordenação entre as diferentes actividades contribuindo para um bom funcionamento da empresa. Segundo Porter (1985, citado em Gibson, 1995) estas actividades podem ser actividades directas, indirectas ou de suporte.

As actividades directas são aquelas que fazem parte do processo físico que vai transformar a matéria prima em produto final como a maquinaria de uma peça. As actividades indirectas são aquelas que apesar de não adicionarem valor ao produto são necessárias à obtenção deste como a preparação de uma máquina. As actividades de suporte incluem os vários sistemas que apoiam as actividades directas e indirectas como o sistema de informação, o sistema financeiro, o sistema de recursos humanos entre outros.

A forma como uma actividade é desempenhada pode afectar o custo ou eficiência de outra actividade, por exemplo, a compra de matéria prima com qualidade superior implica a redução de sucata na fabricação.

02. Tipo de fábrica

A identificação do tipo de sistema de produção adequado para uma situação produtiva é complicada porque cada empresa apresenta uma situação diferente. Isto significa que a diversidade de situações que se podem encontrar é imensa. No entanto, a identificação pode ser facilitada se as situações produtivas forem, de alguma forma, classificadas em categorias que as tornem reconhecidas como propícias ou não a um tipo de sistema.

Segundo Gibson (1995) e Harrison (1996) uma classificação possível para os tipos de fábrica baseia-se na forma do fluxo de material, podendo esta assumir uma forma em A, V, T e I, pela sua semelhança com as letras respectivas.

A forma do fluxo de material tem uma correspondência com a forma da nomenclatura dos produtos. As nomenclaturas, de acordo com a comparação entre os números de produtos acabados e os seus componentes, podem-se apresentar sob quatro formas: estrutura convergente, divergente, ponto de agrupamento e paralela (Courtois, 1996), respectivamente com a forma de fluxo A, V, T e I.

Fábrica do tipo A

Neste tipo de fábrica cada produto é obtido à custa de uma variedade considerável de componentes, peças e matérias primas que são sucessivamente processados, submontados e montados. Mais, por imposição estratégica ou física o número de produtos finais é pequeno, resultando numa estrutura de produtos típica com a forma de uma pirâmide (forma A) (Figura 14).

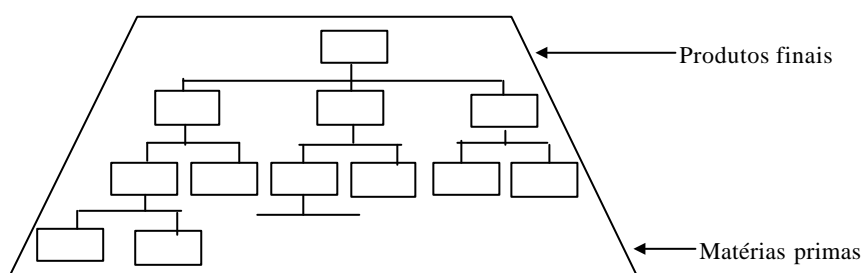


Figura 14. Formato da fábrica tipo A

Neste tipo o Plano Director de Produção é, normalmente, definido em termos de produtos finais que são, por vezes, fabricados para stock. O horizonte temporal do PDP é determinado pelo tempo de entrega cumulativo (desde a encomenda da matéria prima até á expedição) desses produtos (Gibson, 1995), quando qualquer esquema de encomenda ou produção para stock de peças e semi-acabados não é implantado.

A gama de produtos é especificada pela empresa reduzindo-se assim a variedade de produtos produzidos por esta que não sofre alterações significativas ao longo do tempo. Exemplos destes tipo são empresas que produzem equipamento pesado e especializado tais como máquinas-ferramentas e geradores.

Fábrica do tipo V

A fábrica do tipo V é caracterizada por um número muito reduzido de matérias primas diferentes que podem ser convertidas numa variedade considerável de produtos finais. A estrutura de produtos tem a forma de uma pirâmide invertida (forma V) e é complexa ao nível do produto final e simples ao nível da matéria prima (Figura 15).

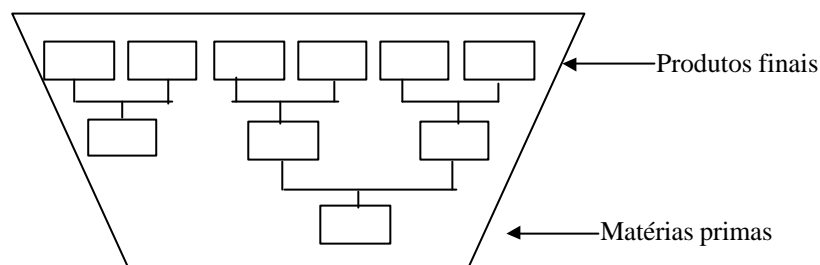


Figura 15. Formato da fábrica do tipo V

Os produtos são, normalmente de elevado valor e fabricados por encomenda devido quer à variedade de produtos finais quer ao facto do produto ser especificado pelo cliente (Higgins, 1996).

Ao nível do PDP pode-se encontrar dois PDP. Um programa a longo prazo (PDP_1) utilizado para matérias primas comuns com longos tempos de entrega que constituem entradas ao processo no qual a empresa está focada e um programa a curto prazo (PDP_2) apenas para as encomendas firmes dos clientes sobre um horizonte de tempo que foi determinado por tempos de entrega típicos definidos pelos clientes (Gibson, 1996).

Exemplos típicos de empresas com estrutura do produto divergente são as empresas que produzem materiais siderúrgicos ou as refinarias de petróleo mas estas não são naturalmente exemplos de empresas que produzam por encomenda. Exemplos de empresas que produzem por encomenda e têm este tipo de estrutura são as empresas de mobiliário de madeira.

Fábrica do tipo T

Na fábrica do tipo T, grande número de produtos finais são feitos a partir de um número relativamente pequeno de submontagens ou componentes que podem ser combinados de formas muito diferentes. São exemplo a produção de automóveis onde uma grande variedade de modelos são produzidos a partir de um número de variantes e opções tais como: fecho central, ar condicionado e vidros eléctricos.

A estrutura do produto pode ter uma aparência piramidal na secção mais baixa divergindo no topo por explosão de variedades de produtos finais. Estes devido às inúmeras combinações possíveis de módulos básicos são representados pela parte mais estreita neste tipo de estrutura (Figura 16).

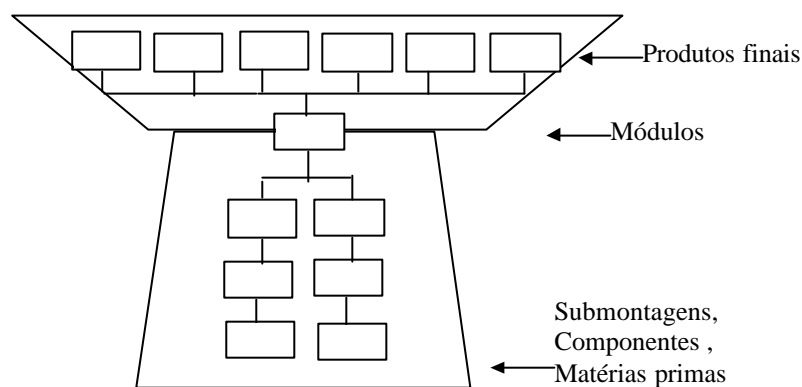


Figura 16. Formato da fábrica do tipo T

A montagem por encomenda está muito associada à fábrica do tipo T. Neste caso pode-se encontrar dois tipos de PDP. Um PDP a longo prazo definido em termos de módulos situado a um nível abaixo do produto final na BOM e comuns a uma grande parte dos produtos, uma vez que a procura para estes itens comuns é normalmente mais fácil de prever. O outro é um plano a curto prazo que é definido para a montagem destes módulos comuns em produtos finais de acordo com a especificação dos clientes. Geralmente o tempo de entrega para a montagem de produtos finais é reduzido.

Fábrica do tipo I

Neste tipo de fábrica um pequeno número de materiais base são usados para formar um produto base. A forma é sugestiva quanto ao fluxo de materiais que percorre a fábrica (Figura 17). Em certos casos, no fim do processo pode adicionar-se diferentes tipos de

embalagens que transformam um pequeno número de produtos numa vasta gama de produtos vendáveis.

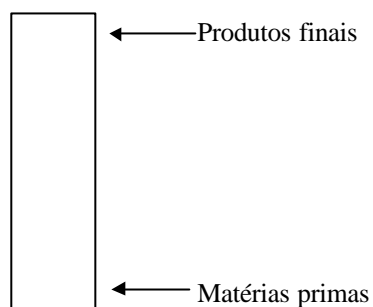


Figura 17. Formato da fábrica tipo I

Exemplo deste tipo de indústria são as produções da indústria farmacêutica e alimentar. Neste casos fabrica-se para stock podendo os produtos apresentar alguma diversificação mas apenas ao nível da embalagem, pois existem misturas de matérias primas dedicadas a cada produto final (Harrison, 1996).

A identificação das empresas nas categorias identificadas nem sempre é muito clara pois, por vezes, as empresas apresentam características de mais do que um tipo de fábrica devido à variedade de produtos que apresentam. Ainda que não seja muito clara esta identificação pode apontar possíveis direcções na escolha do sistema de produção.

5.3. IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO (A13)

Conhecer os planos estratégicos da empresa, as limitações definidas na estratégia de produção, saber quais os planos de produção agregada e a situação actual permitem averiguar a adequabilidade do sistema de produção e/ou identificar o tipo de sistema de produção mais conveniente passando por um processo de selecção do sistema da empresa como se ilustra na Figura 18.

Se o sistema existe a primeira iniciativa é de análise da situação actual e da configuração desse sistema, havendo depois lugar a alterações ou não de acordo com os objectivos e as metas que se pretendem atingir. Se não existe, a primeira iniciativa, após uma análise, centra-se na síntese dos elementos necessários para a criação do sistema, dando lugar depois a uma configuração inicial, determinada, também pelos objectivos a atingir.

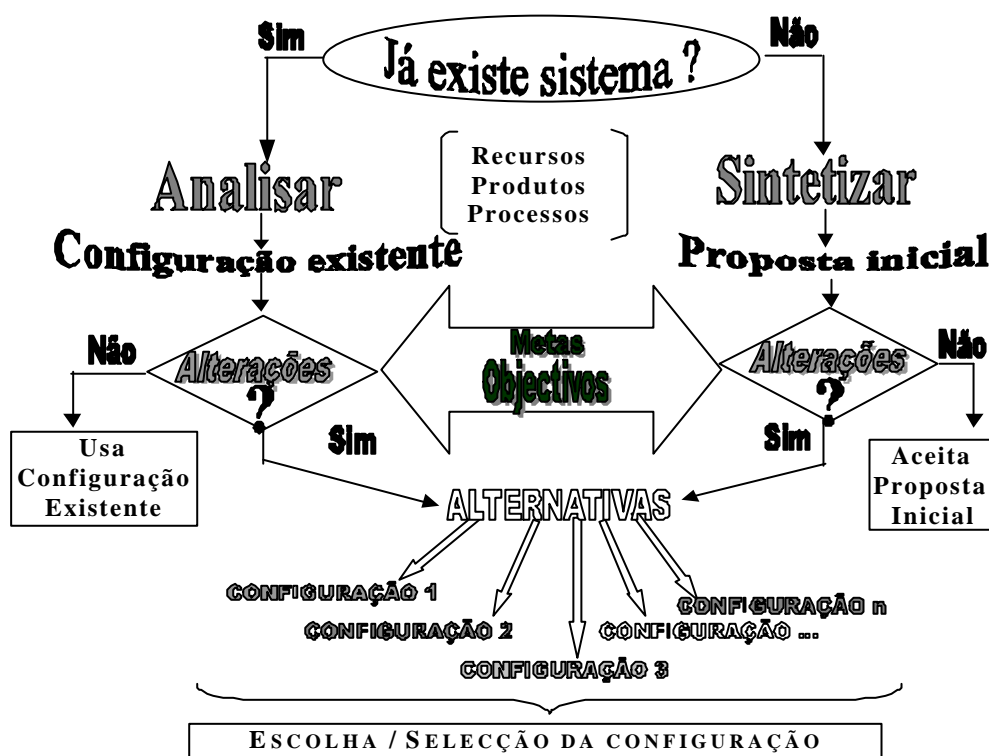


Figura 18. Processo de selecção do sistema de produção

Os elementos a ter em atenção numa primeira abordagem ao problema de alteração ou concepção de um sistema são os recursos necessários e os processos que envolvem a produção do produto que naturalmente estão condicionados pela natureza e quantidade deste.

As metas e objectivos da empresa podem ser muito diversas, ainda que, sumariamente se pretenda um sistema que funcione sem problemas, produzindo os produtos que pretendem, com qualidade e baixo custo. Para conseguir estes objectivos genéricos, compromissos entre objectivos antagónicos mais detalhados são necessários, por exemplo, entre elevadas taxas de produção e variedade de artigos.

Por esta razão e face aos objectivos, poderão apresentar-se várias alternativas que só uma análise criteriosa técnica, quantitativa e qualitativa dessas alternativas poderão indicar a melhor solução ou, pelo menos, uma boa solução. Factores críticos como os custos, a tecnologia, a natureza do produto, as exigências de mercado, a complexidade das tarefas e as quantidades de produção por artigo contribuem para a escolha entre alternativas.

5.3.1. Entradas à identificação do tipo de sistema de produção (A13)

Para identificar o tipo de sistema de produção mais adequado há necessidade de conhecer os tipos de sistemas de produção existentes (diagrama IDEF₀ da Figura 9). Os tipos de sistemas de produção considerados para selecção nesta actividade são as linhas e as células de produção que pela sua dedicação ao produto são denominados de Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) e os Sistemas Orientados à Função (SPOF).

II. Tipos de sistemas de produção

Das definições e características de SPOP e SPOF apresentadas na secção 4.3.1.3 depreende-se que os SPOF têm tendências a serem, de facto, mais flexíveis mas não se adequam a respostas rápidas nem à especialização do produto ou qualidade. A qualidade do produto está intimamente associada à qualidade do sistema que lhe é dedicado, isto é, o SPOP. Neste tipo de sistema, os custos são mais reduzidos e a produtividade maior, sendo estas duas das razões importantes para a opção pelos SPOP. A menos que o sistema orientado ao produto já exista, novos SPOP devem ser equacionados para novos produtos ou famílias de produtos similares.

Para tomar a decisão quanto à escolha do sistema mais adequado é importante identificar quais os principais objectivos que se pretendem atingir e proceder à caracterização da situação produtiva face a alguns critérios relacionados com o sistema de produção.

5.3.2. Restrições à identificação do tipo de sistema de produção (A13)

As saídas das actividades anteriores, fundamentalmente, a estratégia de produção, as variedades e quantidades dos artigos resultante dos planos estratégicos e de produção agregada, o tipo de fábrica (diagrama IDEF₀ da Figura 9) restringem a selecção do tipo de sistema, pois cada sistema possui características que o adequam a diferentes situações.

C1. Estratégia de produção

A identificação do tipo de sistema de produção mais adequado é restringida pelo tipo de estratégia adoptada pela empresa porque cada estratégia de produção e, em particular, a Estratégia de Resposta à Procura (ERP) necessita de um sistema de produção capaz de apoiar a resposta ao mercado que caracteriza cada estratégia.

Na Engenharia por Encomenda podem existir duas situações, cujas características apontam para a necessidade de dois sistemas diferentes. Uma das situações ocorre quando o produto a produzir é *one of a kind*, possivelmente pode ser um projecto de grandes dimensões como uma ponte ou um avião onde o sistema mais adequado é um SPOP. A outra situação ocorre quando a variedade dos produtos é elevada e a procura imprevisível. O sistema deve, assim, estar preparado para produzir diferentes produtos de acordo com as encomendas dos clientes dentro de cada contexto industrial. A produção de vários novos produtos implica, desta forma, um sistema bastante flexível. Nesta situação, como a principal preocupação é a flexibilidade, um SPOF pode servir melhor este requisito.

O Fabrico por Encomenda acomoda uma grande variedade de produtos individualizados que são tipicamente produzidos em pequenas quantidades. A fiabilidade de entrega é difícil de garantir, uma vez que os produtos são feitos por medida para servir as necessidades individuais dos clientes e estes, de certa forma, estão advertidos para esta dificuldade. Devido, principalmente, a estas características esta estratégia é melhor suportada por um SPOF pois tem a flexibilidade necessária para responder a estas necessidades. Se a quantidade de algum desses produtos aumenta, aumenta também a complexidade do sistema através da deslocação de lotes de tamanho maior ou da deslocação de um maior número de lotes. O sistema deixa de responder adequadamente e nessa situação pode-se tentar dedicar um SPOP a esse ou esses produtos.

A estratégia de Montagem por Encomenda representa uma posição intermédia entre o Fabrico por Encomenda e o Fabrico para Stock e procura conciliar a flexibilidade de responder com produtos individualizados com a rapidez de resposta. A individualização destes produtos pode resultar da combinação opcional de módulos básicos. Nesta estratégia a possibilidade de formação de famílias de componentes é grande pelo que a utilização de um SPOP quer na fabricação dos módulos quer na montagem do produto final pode responder adequadamente àqueles requisitos.

A estratégia de Fabrico para Stock acomoda uma variedade muito reduzida de produtos, normalmente normalizados, e produzidos em grandes quantidades. A disponibilidade dos produtos é crítica pois as vendas dependem desta disponibilidade, sendo por isso produzidos para stock. Ao tipo de sistema que suporta esta estratégia é requerido produtividade, rapidez de entrega e custos eficientes. Os SPOP por possuírem as características enunciadas são os mais adequados para esta estratégia.

O sistema mais adequado para a estratégia de Fabrico por Procura é de um sistema flexível e ágil (Oden, 1994). Enquanto que o SPOF é flexível mas não tem agilidade suficiente para fornecer respostas rápidas, o SPOP pode satisfazer as condições requeridas pois reúne a flexibilidade e rapidez de resposta.

Resumindo, a ERP restringe a escolha do tipo de sistema de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9. Aplicabilidade dos sistemas de produção segundo a ERP

	Engenharia por encomenda	Fabrico por encomenda	Fabrico por procura	Montagem por encomenda	Fabrico para stock
SPOF	●	●	◉	○	○
SPOP	◉	◉	◉	●	●

Muito apropriado



Apropriado



Pouco apropriado



Ao definir a estratégia de produção foram considerados os dados sobre o mercado. O mercado é caracterizado pela natureza da procura expressa segundo três factores: estabilidade, regularidade e dimensão (Silva, 1997). Considera-se que o mercado é estável se a procura dos artigos no médio e longo prazo é garantida ainda que sujeita a variações. Num mercado estável irregular a variação da procura é acentuada, ao passo que num mercado regular essa variação é reduzida.

O mercado é instável quando a procura dos artigos no médio e longo prazo não é previsível, sendo susceptível de desaparecer ou de aumentar inesperadamente e somente a procura no curto prazo se conhece.

A dimensão do mercado é caracterizada por ser um mercado de muito grandes quantidades de artigo, o que justifica a dedicação total de um sistema de produção à sua fabricação, ou se, pelo contrário, se tem de produzir no sistema de produção uma variedade de artigos num dado período de produção. Esta variedade dos artigos será tanto maior quanto menor for o tamanho de encomenda do artigo considerado variar de grande a pequeno.

Perante um mercado estável, regular ou irregular, o risco de investimento quer em equipamentos dedicados e especializados quer no Fabrico para Stock de produtos finais é reduzido por a procura ser previsível e mesmo tendo uma variação acentuada, podem-se implementar medidas para compensar variações.











Portanto a resposta produtiva a um mercado estável, regular ou irregular, pode ser conseguida através da dedicação do sistema de produção ao produto. Na situação de produção de grandes quantidades, a dedicação a um único artigo é justificada quando as quantidades a produzir são suficientes para amortizar o investimento. Quando a procura de um produto não é suficiente para conseguir esta amortização terá de haver produção de outros artigos, sendo o sistema de produção, tipicamente, dedicado a uma família de artigos. Num ou noutro caso o sistema de produção é, de facto, orientado ao produto, isto é, um SPOP.




Num mercado instável, um SPOP pode constituir um risco incomportável devido à imprevisibilidade e ao tipicamente curto período da procura. No entanto se este mercado é caracterizado pela regularidade o sistema orientado ao produto é adequado se existir a possibilidade de formar famílias ou as quantidades forem elevadas.

A situação que, normalmente, justifica um sistema orientado à função é aquela que é caracterizada por um mercado instável cuja procura no médio e longo prazo não é previsível, sendo susceptível de variar consideravelmente quanto à variedade dos produtos que fabrica porque neste caso a flexibilidade é o critério mais importante e necessário para responder a este tipo de mercado.

Conhecendo a estrutura do mercado e utilizando os conceitos de estabilidade, regularidade e dimensão introduzidos pode-se verificar como esta estrutura restringe a escolha do tipo de sistema de produção (Tabela 10).

Tabela 10. Aplicabilidade dos sistemas de produção segundo a estrutura do mercado

Est. do mercado	Estável		Instável		
	Regular	Irregular	Regular	Irregular	
	Quant. /Varied.	Quant. /Varied.	Quant./Varied.	Quant.	Varied.
SPOF					
SPOP					

Muito apropriado  Apropriado  Pouco apropriado 
 Quant. – Grandes quantidades de artigo Varied. – Variedade de artigos

C2. Famílias e quantidade dos artigos

A estrutura do mercado está, também, directamente relacionada com a variedade dos artigos e as quantidades a produzir, como já referido. De acordo com a quantidade a produzir pode-se dividir o tipo de produção (capítulo 2) em três classes: fabricação unitária e pequenas séries, fabricação em séries e fabricação em massa.

A fabricação unitária e pequenas séries caracteriza-se por quantidades de produção reduzidas e grande variedade de produtos. A grande variedade de produtos não permite a sua normalização uma vez que existem poucos componentes comuns. Desta forma torna-se imperativo usar equipamento flexível e universal capaz de executar várias e diferentes tarefas para que a capacidade da empresa satisfaça a produção destes produtos.

À medida que aumenta a quantidade a produzir e diminui a variedade dos produtos evolui-se para uma situação de fabricação em séries. Esta é caracterizada pela média variedade e média quantidade de produtos encaixando-se entre a situação de fabricação de pequenas séries e a fabricação em massa. Nesta situação produz-se por lotes e apesar da complexidade implícita devido aos diversos produtos, a produção por lotes oferece economias em termos do custo de preparação. No entanto, se estudos de preparação forem realizados a produção misturada em SPOP, principalmente, ao nível da montagem é, por vezes, muito apropriada.

Os lotes de um artigo podem ser produzidos de uma só vez ou em intervalos regulares em que durante esse intervalo as máquinas são ajustadas para produzir lotes de um outro artigo. Pretende-se com isto ir de encontro á procura do cliente por determinado artigo. Assim o sistema de produção deve acomodar equipamento de uso geral oferecendo alguma flexibilidade para responder a vários requisitos do cliente e flutuações da procura.

A fabricação em massa caracteriza-se por um elevado volume de produção e reduzida ou nenhuma variedade de produtos. Praticamente existe uma estabilidade quanto à quantidade e variedade dos produtos procurados que permite a normalização destes pois as alterações são pouco frequentes. Uma vez que as quantidades a produzir são elevadas justificam um tipo de equipamento especializado e dedicado porque a produção de cada artigo prolonga-se durante longos períodos de tempo compensando assim os custos de do investimento inicial das várias unidades.

A Tabela 11 sumaria e relaciona os aspectos referidos para as três classes descritas.

Tabela 11. Relação quantidade / variedade dos produtos

	Variedade dos produtos	Quantidade de produção	Normalização do produto	Características do equipamento
Fabricação de pequenas séries	Elevada	Reduzida	Reduzida	Equipamento flexível
Fabricação em séries	Média	Média	Média	Equipamento uso geral
Fabricação em massa	Reduzida	Elevada	Elevada	Equipamento especializado

O sistema de produção para a classe de fabricação em massa é tipicamente um sistema orientado ao produto. Na fabricação em séries, o sistema de produção tanto pode ser orientado ao produto como orientado à função pois esta situação abrange uma extensa variedade de situações de fabrico.

O sistema de produção para a fabricação unitária ou de pequenas séries, é normalmente um sistema funcional quando há uma extensa variedade de produtos que implicam também, uma extensa variedade de processos de fabrico e um tipo de equipamento de carácter flexível e universal. Em alguns casos tal equipamento pode ser caro. Nesta situação cada produto exige uma sequência de fabrico única, sendo muito complicado formar famílias e dedicar equipamento a cada um dos produtos. A utilização de sistemas orientados ao produto torna-se quase impossível.

Quando são definidas famílias de produtos torna-se mais fácil identificar o sistema de produção mais adequado. Se apenas uma família vai ser produzida e em grandes quantidades então a melhor opção é um sistema orientado ao produto e possivelmente uma linha de produção dedicada. À medida que aumenta o número de famílias e a quantidade de cada uma diminui, a melhor solução pode continuar a ser um SPOP mas com diferente configuração.

A diversidade de peças que os SPOP e, em particular, as células acomodam pode ser extensa, como mostra um estudo de Slomp (1998) que apresenta as características de células implementadas em sete empresas na Holanda. Os produtos e o número de peças diferentes produzidos nessas células são: produtos de instrumentação industrial e 5000 tipos de peças diferentes, bombas centrífugas pequenas e grandes com 450 e 8000 tipos de peças diferentes, peças para fornecimento de instalações eléctricas com 40000 peças diferentes, máquinas para a indústria têxtil com uma diversidade de peças de 6000, bombas e compressores com 1200 peças diferentes e máquinas de injeção de moldes apenas com 130 tipos de peças diferentes.

A constituição das células, além de diferirem no tipo de produtos e no número de diferentes tipos de peças, também diferiam no número de operários, número de células e ainda na estratégia de resposta á procura (5 empresas baseavam-se nas previsões e planeamento e 2 baseavam-se nas encomendas do cliente).

C3. Tipo de fábrica

A identificação do tipo de sistema é restringida pelo tipo de fábrica porque cada tipo de fábrica possui características que revelam que um tipo de sistema é mais adequado que outro apontando assim um caminho na escolha do tipo de sistema.

Nas fábricas do tipo A a gama de produtos é especificada pela empresa e a variedade de produtos é reduzida. A estratégia de resposta à procura é, frequentemente, o Fabrico para Stock onde são produzidos, muitas vezes, produtos normalizados. Os recursos usados neste tipo de fábrica são comuns à maioria dos produtos e normalmente dedicados e especializados fazendo do SPOP o sistema mais adequado.

O tipo de fábrica T é paradigmático da Montagem Por Encomenda quando os módulos básicos são previamente armazenados e reunidos na montagem onde são combinados numa grande variedade de produtos finais de acordo com os requisitos dos clientes.









Adicionalmente são também usados diferentes misturas de componentes e itens comprados. O sistema de montagem é nitidamente um SPOP por montar artigos com similaridades grandes, isto é, usando os mesmos módulos.




A fábrica do tipo I é o caso das indústrias de processo onde as quantidades a produzir são elevadas o que justifica o investimento num sistema e em equipamento completamente especializado e dedicado com os processos interligados e o fluxo contínuo onde as altas taxas de produção e os níveis de qualidade muito elevados são os principais factores a ter em conta. Também o sistema adequado e, normalmente existente, é um sistema orientado ao produto com a particularidade de que a natureza do produto é não discreta (de processo).

Na fábrica do tipo V a estrutura de resposta à procura é, normalmente, a estratégia de Fabrico Por Encomenda. A diversidade de produtos que este tipo de fábricas podem produzir admite uma grande variedade de sequências com fluxos complexos resultantes dos trajectos diferentes de cada produto. Havendo pouca similaridade entre os componentes que constituem o produto, esta situação só pode ser sustentada por um SPOF. Se houver a possibilidade, no entanto, de formar algumas famílias pode-se tentar instalar algumas células dedicadas a essas famílias mantendo o sistema existente para os restantes produtos.

Identificado o tipo de fábrica pode-se então relacionar este com o tipo de sistema de produção da forma apresentada na Tabela 12.

Tabela 12. Aplicabilidade dos sistemas de produção segundo o tipo de fábrica

Tipo de fábrica	A	T	I	V
SPOF				
SPOP				

Muito apropriado  Apropriado  Pouco apropriado 

5.3.3. Mecanismos para a identificação do tipo de sistema (A13)

Na identificação do tipo de sistema faz-se a selecção entre duas configurações genéricas: a configuração orientada ao produto e a configuração orientada à função. A avaliação de alternativas e selecção de uma dessas alternativas requer a utilização de um

ou mais métodos de justificação económica. Tais métodos podem agrupar-se em métodos de único critério e múltiplos critérios (Kolli, 1994).

Métodos de único critério são os métodos económicos tradicionais como, por exemplo, valor presente líquido (NPV)¹⁸, taxa interna de retorno (IRR)¹⁹ e *payback* e retorno do investimento (ROI)²⁰ (Canada, 1989). A utilização destes não são uma boa forma de comparar as alternativas devido principalmente às limitações destes métodos, tais como a avaliação das alternativas apenas em termos financeiros com taxas de interesse inapropriadas e o não reconhecimento de muitos dos benefícios das configurações porque, normalmente, os benefícios são elementos não monetários e difíceis de quantificar (Noori, 1995).

Assim e como a selecção entre as duas configurações implica a avaliação de muitos e conflituosos critérios, a justificação da selecção de uma configuração deve basear-se nestes critérios. Métodos baseados em múltiplos critérios que justificam a selecção de uma configuração são os métodos de Análise de Decisão de Multi-atributos (M1) e esta é razão pela qual se utilizam como mecanismos no desenvolvimento desta actividade.

A aplicação dos métodos de justificação económica para a avaliação das alternativas têm bastantes limitações quando usados isoladamente mas a integração e combinação de vários métodos ultrapassam as limitações e podem fornecer boas soluções.

A simulação (M2) é também nesta actividade utilizada como ferramenta de análise e selecção de uma configuração.

A utilização de outras ferramentas de análise podem e devem ser utilizadas. Estimativas do custo e desempenho de cada um dos tipos de sistemas deve ser realizada por quaisquer meios. Não se excluem modelos de filas de espera, de análise de risco, de custos industriais e avaliações iniciais de investimentos entre outros.

¹⁸Net Present Value

¹⁹ Internal Rate of Return

²⁰ Return On Investment

M1. Métodos de Análise de Decisão de Multi-atributos

O objectivo dos métodos de Análise de Decisão de Multi-atributos é ajudar a tomar uma decisão em problemas que envolvem múltiplos objectivos, atributos, critérios ou factores e fornecer técnicas e meios para classificar, ordenar e seleccionar alternativas de acordo com as prioridades daqueles que têm de tomar decisões (Chan, 1996).

Exemplos de métodos de Análise de Decisão de Multi-atributo são os modelos de análise pesada de factores (WFA)²¹, processo hierárquico analítico (AHP)²², programação por meta (GP)²³ e modelos de utilidade (Canada, 1989). Os modelos de utilidade são capazes de lidar com a incerteza e o risco envolvidos num projecto e são por isso denominados de métodos não determinísticos ou estocásticos enquanto que os outros assumem determinados valores como conhecidos e são designados de determinísticos (Nasr, 1992).

O processo hierárquico analítico (AHP) utiliza um procedimento de avaliação e selecção que consiste numa sequência de quatro passos sendo o quarto passo opcional. Resumidamente os passos são:

1. Determinar a importância relativa dos atributos e sub-atributos
2. Determinar o peso relativo de cada alternativa em relação a cada sub-atributo, se aplicável, e depois sucessivamente em relação a cada atributo
3. Determinar o peso global prioritário de cada alternativa
4. Determinar os indicadores de consistência ao fazer combinações pares

Na importância dada aos atributos raramente existe consenso no valor atribuído pois esta atribuição envolve pessoas com diferentes percepções e julgamentos. Assim mudar o valor atribuído a determinado atributo pode afectar significativamente a decisão a tomar, o que pode ser visto como uma limitação importante do método sugerindo que deverá ser complementado com outras formas de avaliação. Desta limitação e na tentativa de a resolver aplica-se o quarto passo do procedimento. Para resolver este quarto passo recorre-se muitas vezes à análise da sensibilidade que tenta minimizar o efeito dos factores de percepção diferentes e esperados no julgamentos dos atributos (Canada, 1989).

²¹ Weighted Factor Analysis

²² Analytic Hierarchy Process

²³ Goal Programming

Apesar do método AHP não ser muito formal tem a grande vantagem de recorrer à perícia e experiência das pessoas, incluindo na avaliação factores intangíveis.

Canada e Sullivan (1989) apresentam um exemplo que emprega esta técnica para justificar a implementação de um SPOP face à avaliação de duas configurações possíveis para o sistema de produção: um SPOP e um SPOF. Cantamessa e Turrone (1997) também usam a técnica AHP para estudar um conjunto de configurações de sistemas de produção (inclui o SPOF) e avaliar a adequabilidade de cada uma delas.

A programação por meta (GP) é capaz de manusear múltiplos objectivos conflituosos tendo em conta as prioridades atribuídas aos objectivos. Este método teve origem nos modelos de programação matemática. Assim, em GP define-se uma função objectivo que tenta minimizar os desvios entre as metas a atingir e aquilo que pode ser conseguido, atendendo às restrições para o problema. O principal inconveniente deste método é a formulação de um modelo para a sua aplicação em problemas reais (Canada, 1989).

Os modelos de utilidade consideram as preferências dos atributos expressas na forma de funções de utilidade de forma a seleccionar a alternativa mais satisfatória. Estas funções de utilidade podem ser funções aditivas ou multiplicativas. Uma das dificuldades deste método prende-se com os compromissos a assumir durante o processo de formulação dos modelos de utilidade (Kolli, 1994).

Há autores, nomeadamente, Kolli (1994) que integram ainda nos métodos de Análise de Decisão de Multi-atributo os sistemas periciais (SP) e os sistemas de apoio à decisão (SAD). Independentemente de se integrarem ou não nos métodos referidos, a verdade é que os sistemas periciais e os sistemas de apoio à decisão constituem duas ferramentas utilizadas na avaliação e selecção de alternativas que consideram os critérios pretendidos e ajudam na selecção de uma alternativa.

Um sistema pericial consiste numa aplicação informática capaz de resolver problemas complexos, por certas regras e um mecanismo lógico. As regras tentam emular o processo de raciocínio das pessoas num domínio específico. Os sistemas periciais conseguem resolver problemas com dados incompletos e inexactos, isto quer dizer que são capazes de lidar com a incerteza (Canada, 1989).

Um sistema de apoio à decisão inclui um modelo que pode ser um conjunto de técnicas de optimização, financeiras ou de simulação, uma base de dados e um terminal através do qual o utilizador interactiva com o modelo para obter soluções ao problema equacionado (Kolli, 1994). Kalta et al. (1998) desenvolveram um sistema de apoio à decisão para apoiar a avaliação de configurações de células de montagem na indústria do vestuário.

A determinação do método de Análise de Decisão de Multi-atributo ou métodos a usar depende da situação e do problema em causa e da informação requerida para a sua aplicação (Olson, 1996).

M2. Simulação

A simulação, enquanto mecanismo da actividade de identificação do tipo de sistema de produção (A13), pode ser usada como uma ferramenta para construção de modelos representativos de sistemas de produção. Por exemplo, pode-se construir um modelo que representa um SPOF e outro modelo para representar um SPOP. Depois da implementação destes modelos no computador pode-se comparar medidas de desempenho obtidas por um e por outro modelo e descobrir aquele que melhor se adapta às necessidades e condições impostas.

Burgess et al. (1993) usaram a simulação com o propósito acabado de descrever. Um modelo de um sistema funcional foi comparado com um modelo de um sistema misto, contendo uma parte funcional e outra celular. Estes modelos foram construídos para verificar o comportamento e desempenho dos dois sistemas perante diferentes cenários. Os autores analisaram os resultados obtidos demonstrando que nem sempre os sistemas celulares são melhores que os sistemas funcionais alertando para o cuidado na adopção por estes sistemas.

Seifoddini e Djassemi (1997) também desenvolveram 2 modelos: um para representar um sistema funcional e um outro para representar um sistema celular. O objectivo era estudar o efeito da variabilidade da mistura de produtos no desempenho destes sistemas e determinar qual o efeito da flexibilidade das células perante estas variações. Os resultados da simulação confirmaram o sistema funcional como sendo melhor a enfrentar situações de variações na mistura de produtos e que o crescente aumento daquela variabilidade afecta o desempenho das células.

A simulação tem sido bastante aplicada na comparação do desempenho dos sistemas celulares e sistemas funcionais. Este facto é reconhecido por Suresh (1998) que sumariou alguns dos estudos realizados sobre a avaliação e comparação entre sistemas funcionais e sistemas celulares. O autor atribui este facto à complexidade destes sistemas e à impossibilidade de os tratar de uma forma analítica.

5.3.4. Saídas da identificação do tipo de sistema (A13)

A utilização de ferramentas como as sugeridas pode ajudar na selecção da configuração do sistema de produção mais adequado. Os critérios e classificações até ao momento apresentadas também pode ajudar nesta selecção através da classificação da empresa, em termos do tipo de fábrica, da Estratégia de Resposta à Procura e estrutura do mercado que indicam a adequabilidade do tipo de sistema. Assim, a Tabela 13 reúne e sumaria os elementos até aqui descritos no sentido de melhor identificar as situações adequadas à possível implementação das diferentes configurações genéricas. A tabela realça que a grande maioria dos casos de “muito apropriado” pertencem aos Sistemas de Produção Orientados ao Produto.

Pode assim dizer-se que este tipo de configuração genérica abrange mais condições para ser preferido do que a configuração orientada à função. No entanto, isto não significa que seja mais adequado numa determinada empresa em análise. A selecção adequada só seria conseguida depois de uma avaliação de factores importantes das alternativas utilizando as ferramentas sugeridas ou outras que ajudem neste processo.

Tabela 13. Adequabilidade dos sistemas de produção

Estrutura do mercado					SPOF		SPOP		
Instável		Estável		Reg.	Quant./varied	Tipo de fábrica			
								Irreg.	Reg.
Irreg.	Quant.	Reg.	Quant./varied	Quant./varied	A	T	I	V	
	Varied.	Quant.	Quant./varied	Quant./varied	EPE	FPE	FPP	MPE	FPS
●	○	●	○	○	○	○	○	○	○
○	●	○	●	○	○	○	○	○	○
Estratégia de Resposta à Procura (ERP)					○	○	○	○	○
					○	○	○	○	○
					○	○	○	○	○
					○	○	○	○	○
					○	○	○	○	○

6. PROJECTO CONCEPTUAL (A2)

Admitindo-se que o tipo de sistema identificado, resultante da fase anterior da metodologia, foi um Sistema de Produção Orientado ao Produto, são, portanto, as configurações conceptuais dos SPOP que se pretendem analisar. Assim, nesta fase da metodologia faz-se uma análise às várias configurações com o objectivo de seleccionar uma configuração conceptual que sirva os objectivos estratégicos da produção e mercado da empresa. Decompõe-se em 2 actividades: selecção da configuração conceptual e estabelecimento de parâmetros operatórios (diagrama da Figura 19).

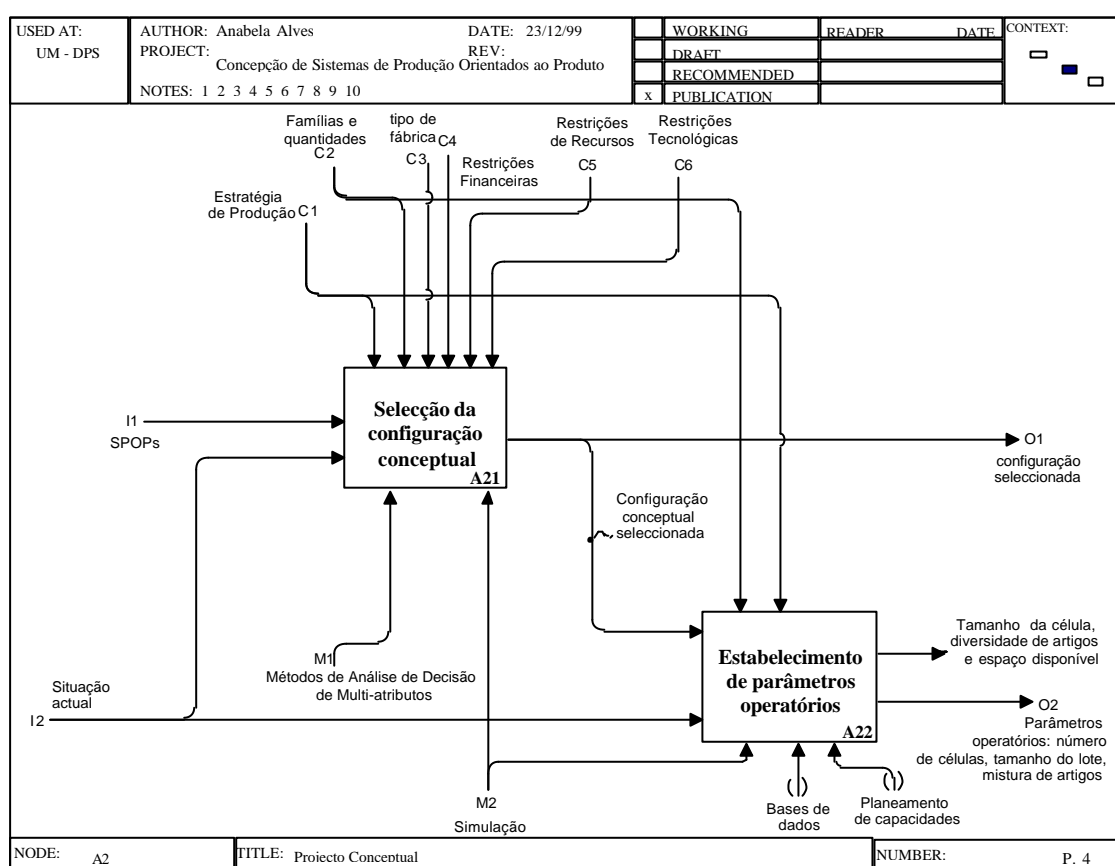


Figura 19. Diagrama IDEF₀ para o Projecto Conceptual (nível A2)

A selecção da configuração conceptual é realizada através de avaliações dos principais factores que caracterizam as diversas alternativas de configurações conceptuais. A última actividade procura definir as políticas de operação do sistema que satisfaz os objectivos assentes no planeamento estratégico da produção (A11).

6.1. SELECÇÃO DA CONFIGURAÇÃO CONCEPTUAL (A21)

É necessário conhecer quais as configurações conceptuais alternativas que devem ser avaliadas para identificar e seleccionar aquela que melhor satisfaça os objectivos e a estratégia de produção da empresa. Como estes objectivos são, muitas vezes, antagónicos, por exemplo, minimizar custos e maximizar flexibilidade, deve ser considerado um número de critérios. A cada critério deve ser atribuído um peso correspondente á prioridade que representa, para que o critério mais importante seja satisfeito.

A avaliação de alternativas de configurações de sistemas é sempre complicada principalmente quando estão envolvidos variáveis difíceis de quantificar, como o são muitos dos benefícios obtidos pelas configurações de SPOP, tais como:

- melhoria da qualidade
- melhor serviço ao cliente
- menor tempo de entrega
- redução do trabalho em curso de fabrico
- maior motivação
- maior flexibilidade

Sendo estes benefícios comuns à maioria das alternativas não constituem uma boa base de diferenciação, devendo, portanto, a avaliação das alternativas das configurações fazer-se através de outros aspectos.

Por exemplo, Black (1983) usa o critério da automatização para distinguir técnica e qualitativamente células atendidas, isto é, não automatizadas, e não atendidas.

Mas o aspecto da automatização não é o único critério que merece ser avaliado porque outras alternativas existem, nomeadamente, células que favorecem os movimentos intercelulares e células que favorecem a autonomia da célula. Assim critérios importantes a considerar na comparação das alternativas de SPOP são:

- Taxa de produção
- Variedade de artigos
- Movimento intercelular
- Tempos de preparação
- Tempos de espera

- Polivalência
- Custo do sistema
- Dedicção a um artigo
- Dedicção a uma família de artigos
- Grau de automatização
- Economia de equipamentos
- Facilidade de alteração física
- Repetitividade da produção
- Facilidade de reconfiguração das células
- Tipo de fluxo: procedente, retrocedente com ou sem transposição de postos
- Valorização dos recursos humanos
- Valorização das máquinas e sistemas automáticos
- Variações das taxas de produção
- Redução de prazos de entrega
- Mobilidade de pessoal

Park et al. (1990) também usa o critério da automatização para distinguir e avaliar células automatizadas e células não automatizadas utilizando modelos económicos para justificação entre um e outro tipo, onde factores como investimento inicial, custo de operação, custos de manutenção entre outros considerados.

Assim, a comparação das várias alternativas também pode ser em termos das suas características e diferentes necessidades de requisitos de capital para investimento em, por exemplo:

- Máquinas, equipamentos e ferramentas
- Stock adicional (introdução de um novo produto)
- Tecnologia
- Instalações e utilidades
- Formação
- Sistemas de manuseamento para transferencias intercelulares
- Subcontratação
- Rearranjo das instalações

As configurações alternativas também se podem distinguir pelas diferentes parcelas dos tipos de custos que envolvem, isto significa, por exemplo que a existência de

movimento intercelular permitido por uma configuração implica necessariamente um aumento do custo associado a este tipo de movimento mas pode implicar uma redução de outro tipo de custo, nomeadamente um custo na replicação do equipamento.

6.1.1. Entradas à selecção da configuração conceptual (A21)

Os dados de entrada para esta actividade são as configurações alternativas de SPOP e a situação actual resultante da actividade de análise da situação actual (A12) realizada na fase do Projecto Genérico (secção 5.2). As configurações são comparadas atendendo às características que as distinguem, tentando realçar os aspectos que podem ser preferidos de acordo com os elementos de controlo que condicionam esta análise.

II. Configurações dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto

Dentro dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto podem distinguir-se diferentes configurações (Silva, 1997) que incluem:

- Linha de Produção Dedicada (LPD)
- Célula de Tecnologia de Grupo (CTG)
- Sistema de Produção Flexível (SPF)
- Célula por Projecto (CP)
- Célula Híbrida (CH)
- Célula Virtual (CV)
- Célula Virtual Híbrida (CVH)
- Célula Just-in- Time (CJIT)

Aspectos importantes que distinguem estas configurações são:

- tipo de mercado,
- flexibilidade,
- agregação da produção,
- direcção do fluxo de materiais,
- polivalência dos trabalhadores,
- agrupamento de máquinas e pessoas,
- tipo de equipamento,
- existência ou não de automatização e
- tipo de indústria em que se inserem.

Linha de Produção Dedicada

Podemos dizer que a Linha de Produção Dedicada, LPD, é o sistema mais representativo e paradigmático de sistemas SPOP pois é completamente especializado e dedicado a um único artigo produzido em quantidades elevadas cuja procura no longo e médio prazo é conhecida e não varia ou varia pouco.

Para contemplar a produção de alguma variedade de artigos, variações deste conceito são: a linha de produção dedicada ao lote (LPDL) e a linha para a produção simultânea de uma mistura de artigos (LPM).

Nas linhas de produção o artigo entra no início da linha e sequencialmente vai passando de posto para posto sem transposição ou inversão do fluxo. Este mantém-se procedente do início ao fim das operações de produção.

A representação esquemática destes tipos de sistemas está apresentada na Figura 20 onde as ligações físicas que unem os postos de trabalho não permitem liberdade de movimentação do fluxo de produção.

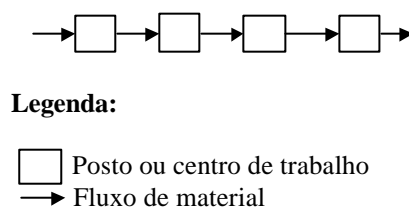


Figura 20. Representação esquemática de uma Linha de Produção Dedicada

Célula de Tecnologia de Grupo

A Tecnologia de Grupo, aplicada aos sistemas de produção é uma filosofia onde, principalmente as similaridades de fabrico e manipulação de artigos são exploradas de forma a identificar e agrupar artigos em famílias e agrupar o equipamento em células, cada uma das quais para fabrico de uma família. As células assim constituídas designam-se Células de Tecnologia de Grupo, CTG.

Na sua aceção mais pura, as máquinas necessárias ao processamento de cada família estão fisicamente agrupadas de tal forma que os artigos fluem de uma máquina para outra, num único sentido (Gallagher, 1973), sem fluxos retrocedentes ou inversos - *back-flow* nem partilha de máquina entre células - *cross-flow* (Burbidge, 1992) Figura 21.

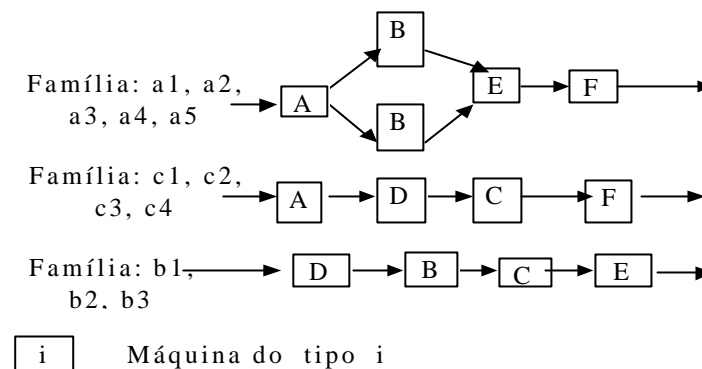


Figura 21. Representação esquemática das Células de Tecnologia de Grupo

Esta implantação tem semelhanças com uma linha de fabrico no que concerne ao processo sequencial de fabrico dos artigos nas máquinas. No entanto, diferenças existem relativamente ao balanceamento e à transposição de equipamento. Isto é aceitável nas células TG mas impossibilitado nas linhas de produção dedicadas.

Segundo Gallagher (1973), nas células CTG é importante:

- completar tanto quanto possível o processamento dos artigos dentro da célula sem que estes a abandonem antes disso acontecer.
- procurar encontrar um fluxo de trabalho num único sentido, tendo os artigos movimento sequencial, num único sentido, de máquina para máquina.

Estas duas características são, por vezes, problemas difíceis de resolver, pois a natureza do equipamento e dos processos, impõe restrições físicas à formação das células.

Sistema de Produção Flexível

Groover (1980) define Sistema de Fabricação Flexível, SFF como “*a manufacturing system consisting of numerical control (NC) machines connected by an automated material handling system. It is operated under computer control and capable of simultaneously processing a family of parts in low to medium demand volume, different process cycles and operation sequences.*” Neste contexto pode-se dizer que um SFF é um sistema orientado ao produto com um grau elevado de automatização flexível.

Pode-se identificar dois tipos destes sistemas (Silva, 1997a):

- Células de fabricação flexível, CFF
- Linhas de fabricação flexível, LFF

O mesmo autor designa os equivalentes para a montagem de células de montagem flexível (CMF) e linhas de montagem flexível (LMF), respectivamente. Para genericamente designar os sistemas de fabricação e montagem flexível, sem distinguir células ou linhas, utiliza-se o termo sistema de produção flexível (SPF).

A Figura 22 ilustra a aplicabilidade dos SFF, relacionando várias medidas de desempenho e variáveis. Estas incluem a produtividade, definida como a taxa de produção por unidade de tempo de processamento, flexibilidade para fácil adaptação à produção de diferentes misturas de artigos, o tamanho do lote e a variedade de artigos que normalmente podem ser processados no mesmo período de fabrico, por exemplo, um dia.

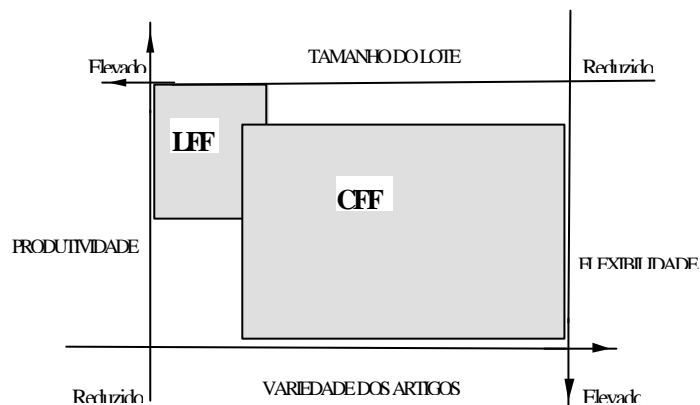


Figura 22. Aplicabilidade de Sistemas de Fabricação Flexível (Silva, 1997a)

CFF e LFF têm diferenças importantes nas suas estruturas de fluxo de materiais. LFF essencialmente processam os materiais numa forma sequencial, isto é, os artigos seguem num sentido único de uma máquina para a próxima numa sequência fixa através de todas ou algumas das máquinas na linha. Representações esquemáticas das LFF apresentam-se na Figura 23, caso a).

A flexibilidade em LFF é encontrada através do uso de máquinas e centros de maquinagem de Controlo Numérico (CN), filas de espera locais para os artigos em curso de fabrico e transposição de alguns postos na linha.

A classe das CFF distingue-se das linhas LFF principalmente porque nas CFF os artigos a serem processados podem aceder aleatoriamente a qualquer máquina do sistema o que

não acontece nas LFF. Neste tal acesso é apenas sequencial. Exemplificação desta realidade mostra-se, para o caso de CFF na Figura 23, caso b).

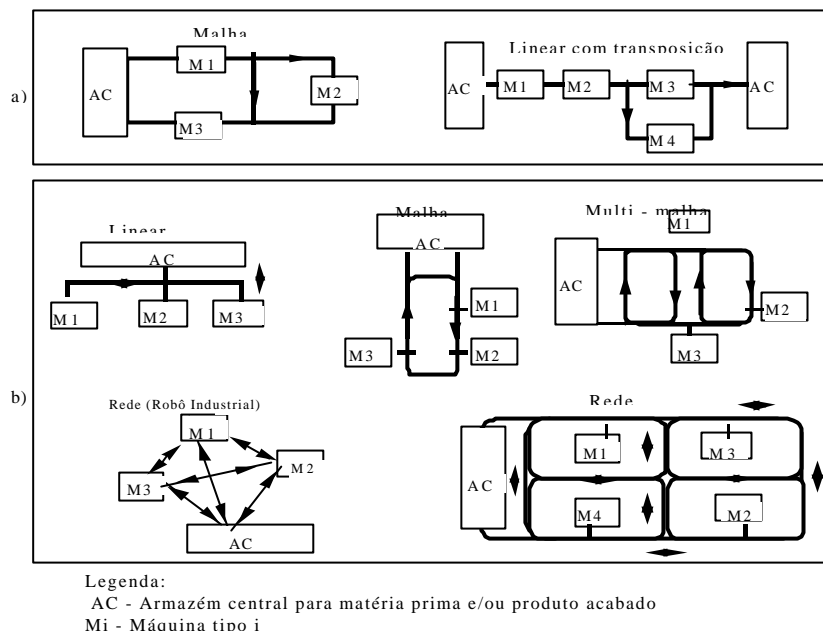


Figura 23. Representação esquemática de configurações de sistemas de fluxo de trabalho em SFF a) em linhas, b) em células (Silva, 1997)

Célula por Projecto

Podemos interpretar uma célula por projecto, CP como um SPOP em que os recursos que se movem são os meios de produção e não o produto. Esta situação é diferente de outros SPOP em que o produto flui através dos diferentes postos de trabalho que se encontram posicionados numa localização fixa. Embora, noutros SPOP possa haver movimentação de pessoal entre posto, geralmente os meios de produção, particularmente, equipamentos principais, não têm mobilidade.

Em todos os SPOP incluindo a célula por projecto a alimentação de materiais é similar, isto é, os materiais são encaminhados para os locais de processamento onde integrarão o produto final. No entanto, na célula por projecto este local é único.

Exemplos de células por projecto são os sistemas de montagem de grandes produtos como navios e aviões.

Podemos compreender, portanto, ser uma célula por projecto um sistema SPOP. A representação esquemática do arranjo da célula por projecto encontra-se na Figura 24.

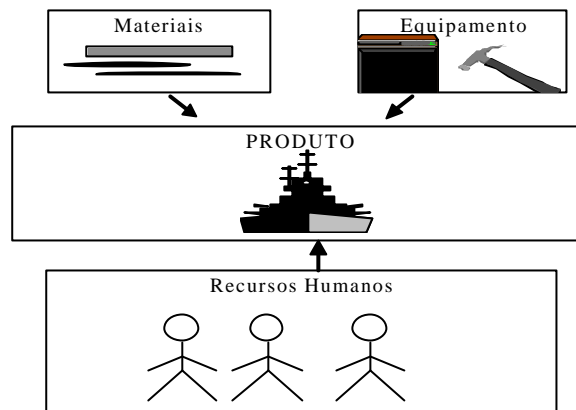


Figura 24. Representação esquemática de célula por projecto

Um aspecto importante da configuração fabril CP é que a alteração do produto obriga à alteração da configuração fabril, isto é, terá de se criar nova célula através de nova afectação de meios de produção, às diferentes operações a executar no novo produto.

Células Virtuais

Células virtuais, CVs, são células organizadas apenas a nível de controlo de produção não havendo agrupamento físico das máquinas de uma célula virtual, num espaço delimitado, Figura 25.

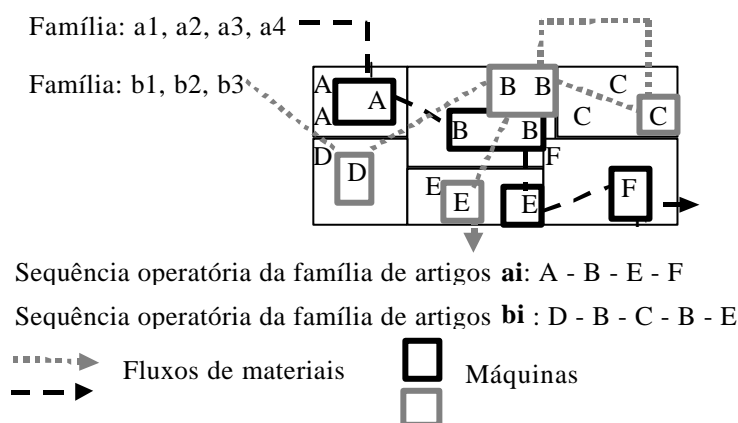


Figura 25. Representação esquemática de duas células virtuais num sistema funcional

A sua aplicação é indicada para situações bastantes dinâmicas de alteração da composição dos artigos a produzir. Neste caso, a criação de células reais, em oposição a virtuais, teria uma existência efémera uma vez que a família de artigos se alteraria no curto prazo. Esta situação de criação dinâmica de células reais é inapropriada em muitos casos industriais. Nestes casos as células virtuais constituem uma alternativa de SPOP, por vezes aceitável de produção em célula, sem que haja necessidades da

implementação física do equipamento; apenas uma implantação organizacional é requerida baseada no sistema de informação e controlo da produção.

Segundo McLean (1987) as CVs podem ser dinamicamente formadas pelo sistema de controlo de produção na base dos requisitos de produção para um dado período. Uma vez satisfeita a produção, estas células podem ser desactivadas e novas células formadas.

Alguns autores que partilham o mesmo entusiasmo e investigam este tipo de configuração são Drolet e Moodie (1990, 1996) e Chatterjee (1992). Drolet et al. (1996) consideram este tipo de configuração como uma configuração adequada para suportar a flexibilidade e reconfigurabilidade das fábricas do futuro, com estações de trabalho e sistemas de manuseamento e transporte automatizados e integrados por computador.

Um conceito muito semelhante à célula virtual é o introduzido por Kim (1990) que denomina de fábrica virtual. Segundo ele uma fábrica virtual é definida por uma sequência de operações de produção implementadas na maquinaria da fábrica física (real). Cada fábrica virtual suporta a produção de exactamente um produto. A sua configuração é definida pelas especificações do produto a ser fabricado. A vantagem da fábrica virtual é a simplificação conceptual no desenvolvimento, uma vez que a fábrica é constantemente sujeita à alteração dos requisitos e introdução de novos produtos.

O conceito de célula virtual é também usado por Meredith (1992) para designar situações em que se procura testar o conceito de célula (capítulo 3) mas verifica-se através da descrição acima que o objectivo das células virtuais é bem mais ambicioso.

Células Híbridas

Na abordagem tradicionalista à formação de células procura-se agrupar fisicamente máquinas ou postos de trabalho e outros recursos necessários à produção de um produto ou família de produtos, dando à célula um carácter produtivo autónomo e com o fluxo num único sentido. Esta é talvez a melhor das soluções e são vários os autores que privilegiam a adopção desta autonomia, nomeadamente Burbidge (1992) e Gallagher (1973).

No entanto, existem factores que restringem esta solução. Um deles é a limitação de recursos escassos e caros. É que, quando em número restrito, tais recursos poderão permitir a criação de um número de células menor que o desejável. Alternativamente, a

criação de mais células obriga à aquisição de recursos adicionais que poderá não ser financeiramente vantajosa.

Outro factor é a natureza dos equipamentos e processos como, por exemplo, o tratamento a quente, alguns processos de medição e de inspecção de qualidade, entre outros. Tais processos obrigam os artigos a saírem da célula e a voltarem, mais tarde, para completarem a sequência de processamento.

Outros factores restritivos podem ser a avaria das máquinas, que poderia comprometer a operação de outras máquinas da célula e, ainda, a necessidade de máxima utilização de algumas máquinas importantes.

Soluções que resolveriam parcialmente os problemas enumerados seriam permitir o fluxo de materiais inverso com ou sem transposição de postos e o fluxo de materiais intercelular com vista à partilha de máquinas. O fluxo de material intercelular com vista à partilha de máquinas é também usado no que se designa por células híbridas, (Irani, 1992).

No conceito aqui apresentado de células híbridas, CHs, as máquinas necessárias simultaneamente a várias células ficam localizadas num espaço funcional próprio, sendo partilhadas por células adjacentes podendo dizer-se que se combinam a implantação funcional com a implantação celular, Figura 26.

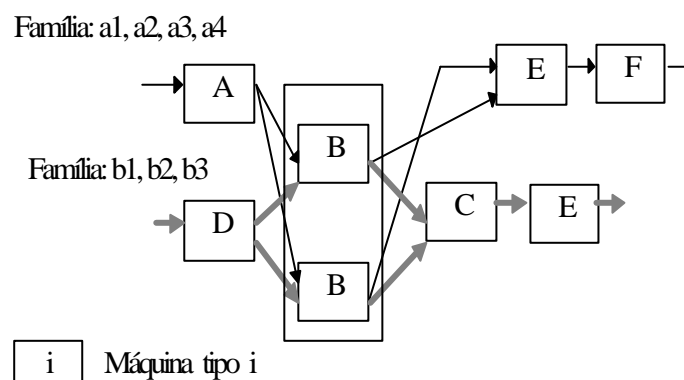


Figura 26. Representação esquemática de células híbridas

Podemos admitir, com base no princípio acima referido para células virtuais, que existe nas células híbridas algum grau de implantação celular virtual na medida em que algumas máquinas não são movidas para as células mas sim posicionadas juntamente num arranjo funcional partilhado pelas células. Mas a completa virtualização das células híbridas consubstancia-se no que se pode designar de células virtuais híbridas.

Células Virtuais Híbridas

A integração das abordagens híbrida e virtual origina o que aqui se chama de células virtuais híbridas, CVH. Neste caso, portanto, não só há partilha por mais que uma célula, de equipamento agrupado funcionalmente, mas também agrupamento virtual dos equipamentos da célula. Uma representação esquemática deste conceito é apresentada na Figura 27.

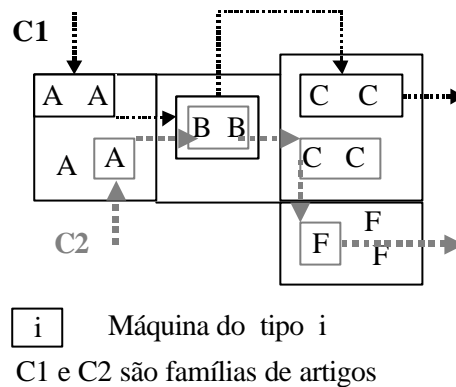


Figura 27. Representação esquemática das células virtuais híbridas

De certa forma, Drolet et al. (1990 e 1996) e Chatterjee (1992) empregam este tipo de configuração pois consideram como fundamental a partilha dos recursos. As máquinas pertencendo a uma célula virtual ou encontrando-se disponíveis num determinado espaço são accionadas em dado momento para fazerem parte de uma célula sem, no entanto, ficarem com o “rótulo” de pertencerem a este ou aquele grupo.

Uma máquina pode fazer parte de uma célula virtual num período e parte de uma outra célula num outro período. Pode mesmo fazer parte de duas ou mais células simultaneamente. A vantagem é a maior utilização e a redução do número de máquinas necessárias. Uma desvantagem evidente é a perturbação da fabricação de uma família de artigos pela fabricação de outras.

Células de Trabalho JIT

Sistemas de Produção Just-In-Time, JIT, são concebidos para permitirem elevada flexibilidade de produção no que se refere a quantidades de produção e alguma variedade de artigos. São tipicamente sistemas SPOP e por conseguinte, fundamentalmente organizados em células ou linhas de produção.

Esta forma de organização favorece muitos dos objectivos JIT, tais como conseguir um fluxo produtivo nivelado dos materiais, fabricação unitária, redução dos tempos de preparação, redução das existências e áreas de armazenagem, melhorias na qualidade, aumento da comunicação, visibilidade e coordenação das actividades dos operadores.

No sentido de desenvolver formas flexíveis de produção as células de trabalho JIT, são vulgarmente concebidas na base dos princípios da Tecnologia de Grupo, isto é capazes de fabricar uma variedade de artigos diferentes, embora similares no que concerne aos processos de fabrico e à forma de manipulação requerida. No entanto, as células JIT têm características próprias não imputáveis à Tecnologia de Grupo.

Características importantes, segundo Hay (1988), das células de trabalho JIT são:

- a possibilidade de transferência unitária de artigo entre postos ou máquinas dentro de cada célula, e
- possibilidade de variação das taxas de produção da célula. Isto é conseguido com uma concepção flexível que poderá acomodar a variação de recursos, e muito particularmente a de recursos humanos.

Estes dois pontos são necessários para a implementação do conceito do sistema *pull* e para a satisfação de procura variável (Cheng, 1996). Além destas características é importante conceber as células por forma a possibilitar entreajuda de operadores. Este facto associado à transferência unitária ou quase unitária do artigo entre postos tem vantagens importantes no equilíbrio do fluxo produtivo e no aproveitamento eficiente dos meios de produção. Isto resulta num equilíbrio quase perfeito da actividade entre operadores.

A afectação dos operadores aos postos ou equipamento por de uma célula JIT deve ser equacionada e embebida no projecto do sistema. A mobilidade e polivalência de tarefas é importante e tem, também, a vantagem adicional de, perante a mudança de artigo a produzir na célula, permitir um rebalanceamento rápido e eficaz do conteúdo de trabalho, isto é, das operações a executar, por cada operador. Casos há em que devido à rapidez com que se podem reconfigurar células, estas podem ter um elevado grau de dedicação a certos produtos.

Uma célula JIT poderá ser constituída por vários postos de trabalho ou máquinas, havendo uma equipa reduzida de pessoal tipicamente menor que os postos de trabalho

que se movimenta dentro da sua zona de trabalho no sentido de processar as peças ou fazer a montagem do artigo em postos diferentes. Esta movimentação pode resultar não só do número reduzido de operadores face ao número de postos de trabalho, como também da estratégia operatória da célula.

A estratégia operatória das células JIT, explora fortemente a polivalência de pessoal incitando à rotação e alargamento de tarefas (Cheng, 1996), permitindo além de grande flexibilidade também grande fiabilidade de funcionamento.

Configurações físicas normalmente aconselhadas incluem aquelas que permitem fácil mobilidade de pessoal, e boa visualização dos postos e trabalhos em curso, sendo de referir, como implantação típica, a configuração em U, dispondo-se, neste caso, os operadores na parte interior do U, Figura 28.

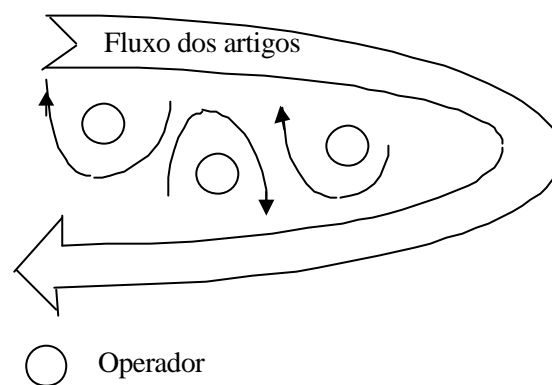


Figura 28. Implantação em U típica de uma célula JIT

A preferência pela implantação em U reside no facto dos operadores trabalharem numa área central limitada tendo uma mobilidade a 360° o que lhes permite realizar outras operações além, mesmo, das operações adjacentes (Monden, 1983). Desta forma o número de operadores necessários para fazer o trabalho pode ser flexível sendo possível, com base na produção desejada para determinado período, recalculando necessidades e obter uma nova afectação de operadores às tarefas. Não é, assim, impositivo ter um operador por posto, como nas linhas de fabrico ou montagem tradicionais.

Outro aspecto comum das células JIT é a possibilidade de cada operador poder optar por trabalhar de pé, sentado ou entre estas duas posições.

Outra vantagem da implantação em U é o facto de que, estando um operador afectado a uma célula, após executar a última das tarefas que lhe estão atribuídas ter de, noutro

artigo, executar a primeira, necessitando vulgarmente de voltar a postos de trabalho anteriores. Por o arranjo ser em U, o deslocamento é praticamente nulo. Numa implantação em linha tal deslocamento, que constitui uma tarefa de valor acrescentado nulo, seria indesejavelmente substancial (Productivity Press Development Team, 1998).

O conceito de JIT explora portanto o arranjo, “um operador, múltiplas máquinas”, (Hay, 1988), em que as máquinas são complementares no processamento de um artigo. Uma abordagem aparentemente similar, mas bastante diferente, pode-se encontrar em sistemas funcionais semi-automáticos, em que o operador, em multi-actividade, executa as mesmas operações em máquinas semelhantes.

Sob o ponto de vista do progresso dos trabalhos, as células JIT são mais vantajosas que qualquer sistema funcional.

Sob o ponto de vista motivacional e ergonómico, temos também, inquestionáveis vantagens com as células JIT. De facto a fadiga dos operadores é considerada menor em ambiente dinâmico de trabalho, isto é, em actividade que permite alguma, mas não exagerada, movimentação e ainda mais gratificante e menos monótono devido à variação de tarefas, pelo menos no âmbito do ciclo operativo do produto.

As várias dimensões de variação de actividade permite um maior estímulo motivador e uma maior atenção ao trabalho susceptíveis de influenciarem, também, positivamente a segurança das pessoas e a qualidade dos produtos.

Aquando da implementação de novas células, o papel dos operadores sofre alterações sendo natural haver alguma renitência destes à mudança. Assim ao nível da gestão dos recursos humanos, isto implica esforços no sentido da motivação, treino e formação e ponderação de sistemas de incentivo e compensação (Johnson, 1990).

Este tipo de células tem sido frequentemente adoptado na indústria do vestuário, na secção de confecção, tradicionalmente organizadas em linhas de fabrico com produção por lotes. Esta adopção deve-se principalmente às características desta indústria, das quais se destacam o trabalho humano intensivo, a forma de incentivos e onde a maioria das máquinas não são automáticas sendo necessário o acompanhamento dos operadores.

A aplicação de células JIT à indústria de vestuário recebe, muitas vezes, o nome de *Toyota Sewing System* (TSS), ou sistema de produção modular (referidos no capítulo 3). As características principais do TSS são: implantação da célula em U, polivalência e

cooperação dos operadores com um operador afecto a uma operação (normalmente mais do que uma operação) e fluxo e processamentos unitário das peças (lote unitário) dentro das células (Kalta, 1998).

Black (1991) considera um sistema de produção composto por células de montagem e fabrico ligadas por um sistema de controlo *pull* que apelida de *Linked-cell manufacturing system* (L-CMS) (referido no capítulo 3). O sistema de controlo *pull* é diferente do sistema *push* uma vez que quando um posto de trabalho necessita de peças, estas são removidas do posto precedente. Esta remoção é um sinal para o posto precedente produzir a ou as peças removidas. Portanto, é o consumo a jusante, em vez da disponibilidade de capacidade que no sistema *pull* autoriza a produção (Ribeiro, 1998). As características do L-CMS, além do controlo *pull*, são:

1. Máquinas arrançadas de acordo com a sequência.
2. Implantação da célula em forma de U.
3. Fabrico peça a peça.
4. Operadores treinados para executarem mais do que uma operação.
5. Taxa de produção para a célula determinada pelo tempo de ciclo para o sistema.
6. Trabalho de pé com movimentação.
7. Máquinas dedicadas, mais lentas, mais pequenas e mais baratas.

Estas características identificam-se fortemente com as das células JIT o que o autor reconhece referindo-as como células JIT (Black, 1995).

Outra filosofia que implementa e explora ideias da filosofia JIT é a estratégia *Quick Response Manufacturing* (QRM), também discutida no capítulo 3. A definição de célula dada por Suri (1998) no contexto da estratégia QRM é:

“Um conjunto de máquinas (normalmente diferentes), próximas umas das outras arrançadas de acordo com a sequência do produto para minimizar o movimento das peças (muitas vezes é usado o arranjo em U para minimizar o tempo de deslocamento do operário). A célula é operada por uma equipa de operários polivalentes que são treinados para desempenhar várias operações na célula e que têm completa responsabilidade pela qualidade e desempenho de entrega. A célula é dedicada à produção de uma família de produtos que necessitam de operações similares, completando na totalidade dentro da célula as operações necessárias a esses produtos. Isto significa que todos os recursos para completar as operações devem estar disponíveis dentro da célula.”

A única diferença entre as células denominadas JIT e as células da estratégia QRM, segundo Suri (1998) é o fluxo retrocedente permitido nestas últimas mas

desaconselhável nas células JIT o que lhe confere uma maior flexibilidade em termos de atender melhor a produtos com procura imprevisível. Pode-se, no entanto, identificar face à definição, que além da rotação e alargamento das tarefas, o enriquecimento é também patente. De facto, este manifesta-se através da responsabilidade pela qualidade e desempenho do trabalho antevendo-se alguma liberdade e decisão a nível dos métodos de trabalho na esfera de acção dos operadores.

Sendo muitas vezes, as células JIT concebidas na base dos princípios da filosofia da Tecnologia de Grupo pode ser confuso distingui-las das células de Tecnologia de Grupo. No entanto, elas distinguem-se pelos aspectos que caracterizam a produção JIT e principalmente pelo processo de controlo imposto à célula pelo JIT que totalmente explora o paradigma *pull*. Além disso, o papel dos operadores vai muito para além do que é necessário para TG, como se referiu atrás.

12. Situação actual

Os elementos caracterizadores da situação actual são elementos a considerar na avaliação das alternativas das configurações pois a sua consideração possibilita a tomada de decisão correcta sobre a selecção da configuração conceptual. Por exemplo, o número de máquinas disponíveis pode impossibilitar a autonomia das células se este número é insuficiente para as células que se pretendem criar evitando que a escolha recaia sobre as células TG.

Os dados disponíveis sobre os custos, nomeadamente custos relativos à aquisição de máquinas, custos de manuseamento de materiais e de subcontratação são particularmente relevantes porque podem ajudar na comparação e avaliação económica das alternativas. Por exemplo, as linhas de produção dedicadas e os sistemas de produção flexível requerem um investimento inicial avultado, superior a todas as outras alternativas.

6.1.2. Restrições à selecção da configuração conceptual (A21)

A selecção da configuração conceptual está condicionada por restrições, na maioria expressas pelos resultados obtidos no desenvolvimento de outras actividades, que são importantes para seleccionar a configuração mais adequada do sistema. Tais restrições incluem, principalmente, a estratégia de produção (C1), as famílias de artigos

resultantes dos Planos de Produção Agregada (C2), o tipo de fábrica (C3), as restrições financeiras (C4), tecnológicas (C5) e de recursos (C6) (diagrama da Figura 19).

C1. Estratégia de produção

A escolha da configuração conceptual mais adequada é restringida pela Estratégia de Resposta à Procura (ERP), a estrutura do mercado e a quantidade de encomenda, como se pode ver pela Tabela 14 (Silva, 1997). A estrutura do mercado caracteriza-se pela sua estabilidade, regularidade e dimensão do mercado (secção 5.3.2.).

Na Estratégia de Resposta à Procura distingue-se três estratégias fundamentais: *produzir*, *“stockar”* e *montar*. Produzir significa que se fabrica estritamente por encomenda (FPE) ou para satisfazer a procura conhecida ou prevista. “Stockar” significa que se produz para stock (FPS), de onde se satisfaz a procura. Montar, ou montar por encomenda (MPE), consiste em satisfazer encomendas a partir da montagem de peças e componentes armazenados, previamente produzidos e, ou adquiridos.

Estas estratégias são assim direccionadas a diferentes tipos de mercado. O mercado de produtos de bens de consumo que requerem disponibilidade imediata dos produtos e que são caracterizados pela estabilidade e grandes quantidades é assegurado pela estratégia de FPS que produz o artigo em lotes para stock, baseia-se nas previsões e tenta limitar o risco pela limitação da gama de artigos (Higgins, 1996). As configurações apropriadas são as linhas de produção dedicadas (LPD) no caso da irregularidade do mercado ou as linhas de produção dedicadas ao lote (LPDL) no caso da regularidade do mercado e quando alguma variedade é necessária.

A estratégia FPE, preparada para fornecer ao cliente artigos individualizados e muitas vezes complexos em pequenas quantidades, começa a produzir logo após receber a encomenda deste (Higgins, 1996). Um tipo de mercado servido por esta estratégia é o mercado de bens de equipamento caracterizado pela elevada instabilidade e irregularidade onde a configuração mais adequada é de um sistema funcional, podendo também usar-se as células virtuais (CV) e células virtuais híbridas (CVH). No entanto, esta estratégia pode servir diferentes tipos de mercado e, por isso, diferentes configurações podem ser seleccionadas (Tabela 14). Quando a produção dos artigos pode ser realizada á taxa de consumo, a estratégia é a de produzir não havendo, por isso, necessidade de stocks (Silva, 1997).

Tabela 14. Adequação dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto a diferentes ambientes de produção e de mercado (adaptado de Silva e Alves, 1997)

Produção discreta						
Mercado			Config. sistema	Destino da produção	Princípios e Características da produção	Encomenda
ESTÁVEL	REGULAR	QUANTIDADE	LPD	produzir	1) Produzir o artigo à taxa de consumo 2) Stocks nulos 3) Sistema de produção dedicado a um artigo	<i>muito grande</i>
		VARIEDADE	LPDL	stockar	1) Produzir o artigo em lotes 2) Armazenar o excesso de artigo final 3) Sistemas de produção dinamicamente dedicado a um artigo	<i>grande</i>
			LPM LPF CJIT	produzir	1) Produzir o artigo à taxa de consumo 2) Stocks nulos 3) Tecnologia de Grupo 4) Sistema de produção dedicado a uma família de artigos	<i>média</i>
			CPF CTG CH	produzir	1) Produzir o artigo à taxa de consumo 2) Stocks nulos 3) Tecnologia de Grupo 4) Sistema de produção dedicado a uma família de artigos	<i>pequena</i>
	IRREGULAR	QUANTIDADE	LPD	stockar	1) Produzir o artigo em lotes 2) Armazenar o excesso de artigo final 3) Sistema de produção dedicado a um artigo	<i>muito grande</i>
		VARIEDADE	LPF CJIT CPF CTG CH	montar	1) Tecnologia de Grupo 2) Produção Modular 3) Fabricar peças e componentes em lotes 4) Armazenar alguns componentes e peças 5) Montar componentes e peças de artigos encomendados 6) Sistema de produção dedicado a uma família de artigos	<i>de grande a pequena</i>
INSTÁVEL	REGULAR	QUANTIDADE	LPD	produzir	1) Produzir o artigo à taxa de consumo 2) Stocks nulos 3) Sistema de produção dedicado a um artigo	<i>muito grande</i>
		VARIEDADE	LPDL CJIT	produzir	1) Produzir o artigo à taxa de consumo 2) Stocks nulos 3) Sistemas de produção dinamicamente dedicado a um artigo	<i>grande</i>
			CJIT SPF CTG CH, CV CVH	produzir ou montar	1) Produzir ou montar o artigo à taxa de consumo 2) Produção Modular 3) Stocks nulos de artigos acabados 4) Armazenar alguns componentes (subconjuntos) 5) Tecnologia de Grupo 6) Sistema de produção dedicado a uma família de artigos	<i>de média a pequena</i>
	IRREGULAR	QUANTIDADE	LPD	produzir	1) Produzir o artigo em lotes 2) Stocks nulos 3) Sistema de produção dedicado a um de artigo	<i>muito grande</i>
		VARIEDADE	CJIT CPF CTG CH	produzir	1) Produzir o artigo à taxa de consumo 2) Stocks nulos 3) Tecnologia de Grupo 4) Sistema de produção dedicado a uma família de artigos	<i>grande a médio</i>
			Sistema funcional CV, CVH	produzir	1) Produzir o artigo à taxa de consumo 2) Stocks nulos 3) Sistema organizado funcionalmente	<i>pequena</i>
Produzir: fabricar estritamente o que é e quando é encomendado ou consumido. Montar: fabricar componentes e peças antecipadamente e montar por encomenda. Stockar: fabricar em lotes económicos para abastecer a procura a partir do stock de artigos acabados.						

Para um mercado estável, regular e de grandes quantidades o sistema de produção é dedicado a um artigo (LPD) e a existência de stocks deve ser nula. Para um mercado estável, regular mas onde existe variedade, a aplicação da Tecnologia de Grupo é possível e o sistema é dedicado a uma família de artigos. Nesta situação diferentes configurações podem ser utilizadas, nomeadamente, a linha de produção de artigos misturados (LPM), a linha de produção flexível (LPF) e a célula JIT (CJIT), se a dimensão da encomenda é pequena ou a célula de produção flexível (CPF), a célula de TG (CTG) e célula híbrida (CH), se a dimensão da encomenda é média.

Quando o mercado é instável regular ou irregular, a estratégia de *stockar* está fora de questão devido ao risco que se poderia estar a incorrer portanto todas as situações são de produzir à taxa de consumo evitando constituir quaisquer stocks mas certamente de produtos acabados. A única excepção à produção do artigo à taxa de consumo é quando a encomenda é muito grande no caso da irregularidade, onde o artigo é produzido em lotes e o sistema adequado é LPD.

Configurações adequadas neste tipo de mercado abrangem quase todas as alternativas propostas: LPDL, LPD, CJIT, CPF, CTG, CH, CV, CVH e sistema funcional. Evidentemente que nem todas servem na mesma situação, como se pode ver pela Tabela 14, pois as linhas são mais adequadas para grandes encomendas e pouca ou nenhuma variedade do artigo e as células são mais adequadas para médias e pequenas encomendas e grande variedade dos artigos.

A estratégia MPE coloca-se numa situação intermédia entre as outras duas e assegura principalmente os mercados de produtos duráveis, como por exemplo, motores de automóveis que incluem uma limitada gama de produtos finais e um grande número de encomendas de clientes. Os tempos de entrega são minimizados através da separação da fase do fabrico dos módulos baseado nas previsões da fase de montagem final dos produtos individualizados. O risco é minimizado pela modularização dos artigos e normalização dos módulos tanto quanto possível (Higgins, 1996).

O mercado assegurado pela estratégia de MPE é caracterizado em algumas situações pela estabilidade e irregularidade onde a variedade é mais importante que a quantidade. Neste caso devem ser consideradas as seguintes configurações: LPF, CPF, CJIT, CTG ou ainda a CH.

Outras situações há em que o mercado é caracterizado como instável mas regular assumindo também uma maior ênfase na variedade. Neste caso as configurações CPF, CJIT, CTG, CH continuam a ser adequadas mas a LPF deixa de o ser, uma vez que a instabilidade do mercado não justifica o investimento necessário neste tipo de linhas. Além destas configurações também são adequadas as CV e CVH pois a sua facilidade de reconfiguração adequa-se á ênfase dada na variedade dos artigos.

C2. Famílias de artigos e quantidades

As famílias de artigos definidas e resultantes do Plano de Produção, quer sejam novas famílias quer sejam famílias existentes que se pretendem introduzir, determinam a configuração do sistema apropriado.

No caso da introdução de novas famílias, estas são normalmente produzidas em quantidades reduzidas na tentativa de minimizar o risco. Por o produto constituir uma novidade o tempo de entrega não é crítico pois ainda tem pouca ou nenhuma concorrência. Desta forma, podem ser adequadas as CV e CVH ou CJIT, devido à quase não alteração do sistema existente e facilidade de formação.

No caso de famílias existentes, o ciclo de vida e a fase do ciclo do ciclo de vida em que estas se encontram podem determinar diferentes configurações. Para artigos ou famílias de artigos com ciclos de vida curtos são indicadas configurações capazes de rapidamente serem alterados como as CV ou CJIT.

Para artigos ou famílias de artigos com ciclos de vida longos, isto pode significar a necessidade de diferentes configurações para as diferentes fases do ciclo pois estas reflectem diferentes necessidades em quantidades a produzir. Nas fases de crescimento e maturidade do artigo, as quantidades de produção justificam o investimento num sistema completamente dedicado sendo a LPD a melhor opção.

Se o artigo ou família se encontra na fase de declínio, as quantidades de produção não são suficientes para cobrir o investimento e aquela configuração não deve ser seleccionada. Neste caso é admitida a mistura do artigo com outros artigos ou famílias e a solução pode passar por alguma das outras configurações.

C3. Tipo de fábrica

O tipo de fábrica resultante da actividade análise da situação actual (A12) (secção 5.2.3) condicionou a identificação do tipo de sistema apontando a conveniência da fábrica do

tipo V para um Sistema Orientado à Função devido à grande variedade de processos de produção e os outros dois tipos (A e T) para um Sistema Orientado ao Produto.

As configurações para o tipo A e T podem ser diferentes uma vez que estes possuem características próprias e distintas. Para a fábrica do tipo A, e como esta categoria de empresas apresenta recursos comuns á maioria dos artigos constituídos por máquinas ou equipamento dedicado, a linha de produção dedicada (LPD) é uma solução. Perante alguma variedade de artigos as configurações linha de produção dedicada ao lote (LPDL) ou linha de produção repetitiva de artigos misturados (LPM) também podem ser escolhidas. A possibilidade de formar famílias pode ainda conduzir à escolha de células JIT (CJIT) ou células de Tecnologia de Grupo (CTG).

O caso da fábrica do tipo T é um caso paradigmático de aplicação da Tecnologia de Grupo onde a montagem dos componentes é feita de acordo com as encomendas do cliente sendo o tempo de entrega um factor importante a considerar. As células de Tecnologia de Grupo ou JIT podem, claramente, ser aplicadas à montagem.

Algumas indústrias que se podem identificar como fábricas do tipo T e que adoptam esta estratégia estão muitas vezes equipadas com elementos de montagem automática como robots industriais e outros sistemas de manuseamento e transporte de materiais tendo constituído Sistemas de Produção Flexível (SPF). Exemplo deste tipo de indústria é a indústria automóvel.

O tipo de indústria onde está inserida a empresa parece ser restritivo do tipo de configuração do sistema de produção. Assim, por exemplo, a CTG aparece normalmente referenciada através da industria mecânica e metalúrgica onde a fabricação de peças e a utilização de máquinas-ferramentas é predominante (Burbidge, 1996) enquanto que a célula JIT é referenciada pelas indústrias de confecção e vestuário e de automóveis onde a montagem de componentes ou a ligação de peças e a utilização de pessoas é predominante (Black, 1995).

Por vezes, dentro do mesmo tipo de indústria pode-se ainda encontrar diferentes configurações como consequência de pressões circundantes e exteriores resultantes do país onde são implementadas como mostra um estudo de Harvey (1994) sobre a organização sócio-técnica de duas configurações de células. Encontradas na indústria metalúrgica, as duas configurações têm diferenças nítidas, nomeadamente, na configuração física, nos factores organizacionais e na estratégia de mercado servida.

C4. Restrições financeiras

A capacidade financeira e a disponibilidade de capital que a empresa está disposta a investir condiciona a selecção da configuração pois impossibilita a adopção de algumas configurações. Por exemplo, a empresa não tem nem pensa em investir em máquinas CNC, em sistemas automáticos de manuseamento de materiais e de ferramentas, redes de computadores, sistemas de inspecção automática e outro tipo de tecnologia exigida pelas células ou linhas de produção flexível logo estas alternativas devem ser postas de lado.

Outro exemplo é de que a empresa não possui capital para duplicar as máquinas de forma a constituir células autónomas e nesse caso as Células JIT ou CTG não são opções mas as Células Híbridas podem ser uma boa solução.

C5. Restrições de recursos

Tal como no planeamento estratégico da produção (A11), também nesta secção as restrições dos recursos se podem manifestar a várias dimensões, tais como: conhecimento, quantidade e tipo de recursos.

A disponibilidade de recursos humanos existentes no meio local onde a empresa está situada é importante, assim como o nível de especialização que possuem. Se não existem a opção da empresa pode fazer-se pela adopção de sistemas com um maior grau de automatização. Quando se pretende adoptar uma Célula JIT é importante verificar se existe a formação dos operários porque estes são fundamentais para a operacionalidade da célula.

Os recursos com um valor demasiado elevado que não permite a sua duplicação também é um factor restritivo à escolha da configuração porque conseguir a autonomia das células é impossível quando mais do que uma família necessita desse recurso passando a solução, por exemplo, pelas células híbridas.

C6. Restrições tecnológicas

Este tipo de restrições pode relacionar-se com as restrições financeiras porque se a empresa não tem determinado tipo de tecnologia e não pretende investir na sua aquisição, alternativas como CPF e LPF não podem ser seleccionadas.

A duplicação de determinado tipo de equipamento pode ser economicamente inviável ou mesmo tecnologicamente impossível pelo que a partilha do equipamento é inevitável restringindo a escolha da configuração a células híbridas.

A existência de sistemas funcionais cuja alteração é tecnologicamente e economicamente inexecutável poderia conduzir à escolha de uma célula virtual ou virtual híbrida.

6.1.3. Mecanismos para selecção da configuração conceptual (A21)

O objectivo da selecção da configuração conceptual é, tal como na identificação do tipo de sistema, analisar possíveis configurações e seleccionar uma ou mais que satisfaçam determinados requisitos. As alternativas a analisar nesta actividade são mais que na secção anterior, mas isto não impossibilita a utilização do mesmo tipo de mecanismos: os métodos de Análise de Decisão de Multi-atributos (M1) e a simulação (M2).

Nesta actividade, a utilização dos métodos económicos tradicionais referidos na secção 5.3.3 continua a ser pouco viável pelas razões apontadas nessa secção. Além dessas razões, a avaliação económica das alternativas iria basear-se na estimativa de alguns custos como, por exemplo, custo de manuseamento de material intracelular e intercelular e custo de replicação de recursos, e na identificação dos benefícios que se ganham com a implementação das configurações o que poderia implicar muito trabalho e demorar muito tempo.

M1. Métodos de Análise de Decisão de Multi-atributos

Os métodos Análise de Decisão de Multi-atributos descritos na secção 5.3.3 podem aplicar-se na actividade de selecção da configuração conceptual. Nessa secção apresentaram-se apenas alguns exemplos mas existem mais que podem ser consultados na bibliografia sobre o assunto que é bastante, nomeadamente, Olson (1996). Este autor apresenta ainda programas desenvolvidos que ajudam na aplicação deste tipo de métodos.

Dos métodos apresentados naquela secção apenas o de análise pesada de factores (WFA) não foi descrito porque é nesta secção que se pretende fazê-lo, utilizando-o para escolher uma das configurações.

Na Figura 29 representam-se as várias configurações com informação qualitativa relativamente a alguns critérios importantes na avaliação das diferentes alternativas de

SPOP, tais como a taxa de produção, a variedade de artigos, o movimento, os tempos de preparação e de espera, o custo do sistema e a polivalência.

Não há dúvida que a maior taxa de produção é atingida com a linha de produção dedicada mas em contrapartida não contempla nenhuma variedade de artigos. A variedade de artigos é possibilitada fortemente nos SPF, CTG, CV e CVH. O movimento é aqui entendido como a movimentação necessária dos artigos entre linhas/células para completarem o seu processamento. As linhas e as células CTG e CJIT são concebidas de forma a que este movimento não exista, ou seja muito reduzido.

Os tempos de preparação e o custo inicial do sistema para uma linha de produção dedicada traduz-se realmente em grandes preparações, razão pela qual se considera na informação qualitativa muito mau. Em compensação esta situação revela-se muito boa relativamente aos tempos de espera pois o funcionamento da linha é bastante eficiente. A polivalência é bastantes reduzida nas LPD pois normalmente cada operador é afectado a um único posto de trabalho.



























































	LPD	LPF	SPF	CGT	CH	CV	CVH	CJIT
Taxa de produção								
Variedade de artigos								
Movimento								
Tempos de preparação								
Tempos de espera								
Custo do sistema								
Polivalência								
De muito bom  a muito mau 								

Figura 29. Critérios e avaliação qualitativa das várias configurações (adaptado de Silva e Alves, 1997)

Informação quantitativa é sempre preferível para a avaliação das alternativas. Daí frequentemente se procurar quantificar factores qualitativos. Pode-se assim seleccionar e ordenar as alternativas com base em valores quantitativos. A atribuição de valores à informação qualitativa da Figura 29, desde o valor 1 à situação de muito mau ao valor 5 que representa a situação de muito bom, permite quantificar as configurações em relação aos critérios (Tabela 15).

Tabela 15. Quantificação dos critérios face às configurações

Factores de avaliação	LPD	LPF	SPF	CGT	CH	CV	CVH	CJIT
Taxa de produção	5	4	3	4	3	3	3	4
Variedade de artigos	1	3	4	4	3	4	4	3
Movimento	5	5	4	5	2	1	1	5
Tempos de preparação	1	3	3	4	3	3	3	4
Tempos de espera	5	4	3	4	2	3	2	4
Custo do sistema	1	2	3	3	4	5	5	3
Polivalência	2	1	1	4	3	1	1	5

Esta quantificação é já um passo da aplicação do método de análise pesada de factores (WFA) que permite a ordenação das alternativas e selecção daquela que somar mais valores. Os passos a seguir (Nyman, 1992) são:

1. Atribuir um peso a cada factor numa escala de 1 a 10 (10 é o mais importante). O mesmo peso pode ser atribuído a mais do que um factor.
2. Ordenar cada alternativa para cada factor numa escala de 1 até 5 (5 é o mais importante).
3. Calcular o valor para cada factor em cada alternativa, multiplicando o peso pelo número de ordem.
4. Somar os valores obtidos para cada alternativa e comparar estes valores por alternativa.

Supondo que o factor mais importante é a variedade de artigos e utilizando a quantificação dos critérios e os factores de avaliação da Tabela 15, a Tabela 16 resulta da aplicação do método.

A configuração seleccionada de acordo com a classificação atribuída e atendendo ao critério de variedade de artigos mais importante é a célula de Tecnologia de Grupo seguida por perto da célula JIT.

Tabela 16. Matriz que relaciona os factores de avaliação com as configurações

Factores de avaliação	Peso	Configurações							
		LPD	LPF	SPF	CGT	CH	CV	CVH	CJIT
Taxa de produção	5	5/25	4/20	3/15	4/20	3/15	3/15	3/15	4/20
Variedade de artigos	10	1/10	3/30	4/40	4/40	3/30	4/40	4/40	3/30
Movimento	5	5/25	5/25	4/20	5/25	2/10	1/5	1/5	5/25
Tempos de preparação	8	1/8	3/24	3/24	4/32	3/24	3/24	3/24	4/32
Tempos de espera	7	5/35	4/28	3/21	4/28	2/14	3/21	2/14	4/28
Custo do sistema	6	1/6	2/12	3/18	3/18	4/24	5/30	5/30	3/18
Polivalência	9	2/18	1/9	1/9	4/36	3/27	1/9	1/9	5/45
total		127	148	147	199	144	144	137	198

Os totais encontrados mudariam se os pesos atribuídos aos factores fossem outros e como esta atribuição é subjectiva seria essencial proceder a uma análise de sensibilidade (secção 5.3.3) para verificar de que modo os resultados diferiam, podendo mudar a conclusão anterior.

M2. Simulação

A simulação utiliza-se para obter o mesmo objectivo que tinha na actividade da identificação do tipo de sistema de produção (A13), isto é, comparação e selecção de alternativas através do estudo do comportamento face a parâmetros estabelecidos na construção dos modelos. Neste estágio de análise a simulação tende a ser mais detalhada incorporando configurações e dados não necessários na fase do Projecto Genérico.

Estes modelos são utilizados complementarmente aos métodos de justificação económica para adequadamente avaliar as alternativas integrando factores económicos e não económicos no processo da tomada de decisão.

Por exemplo, no trabalho de Chan e Abhary (1996) são construídos 4 modelos de sistemas com diferentes quantidades de recursos e número de células. Para avaliação são considerados factores financeiros como investimento e custo de operação e factores não financeiros como o tempo de produção, utilização das máquinas e dos trabalhadores, manutenção, fiabilidade, flexibilidade e a qualidade. Os modelos são depois avaliados através dos resultados obtidos pela simulação e da técnica de AHP (secção 5.3.3).

6.1.4. Saídas da selecção da configuração conceptual (A21)

A selecção da configuração conceptual (A21) tem como objectivo a avaliação, a ordenação e selecção de uma de entre um conjunto de alternativas. Apesar de alguns dos mecanismos apresentados poderem lidar com um conjunto grande delas, poder seleccionar entre um número reduzido de alternativas facilita a escolha. As restrições limitam o leque de opções, devido às características de cada alternativa. Por exemplo, na presença de um mercado estável, regular e de elevadas quantidades a linha de produção dedicada é naturalmente a configuração mais adequada.

O resultado desta actividade é, assim, a selecção da configuração do SPOP (O1) que melhor se adapta aos objectivos da empresa.

6.2. ESTABELECIMENTO DE PARÂMETROS OPERATÓRIOS (A22)

A actividade de estabelecimento de parâmetros operatórios procura definir o leque de parâmetros operatórios que devem ser estabelecidos *a priori* para que se possa ter uma base de trabalho e estimar alguns elementos necessários no desenvolvimento do Projecto Detalhado.

O diagrama IDEF₀ da Figura 19 mostra como entradas a alternativa escolhida e a situação actual, como restrições a estratégia de produção e as famílias e quantidades resultantes da actividade do planeamento estratégico (A11) e como saídas os parâmetros operatórios.

6.2.1. Entradas ao estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)

As entradas nesta actividade são a alternativa conceptual escolhida (I1) resultante da actividade anterior e a situação actual (I2) resultante da actividade da análise da situação actual (A12) pertencente à fase do Projecto Genérico.

I1. Configuração do SPOP seleccionado

A informação sobre a configuração conceptual escolhida, resultado da actividade anterior, é necessária pois cada uma tem características próprias com diferentes necessidades em recursos, em espaços e em tecnologia.

I2. Situação actual

Todos os dados referidos e resultantes da actividade da análise da situação actual (A12) (secção 5.2) entram nesta actividade. Sintetizando:

- Artigos ou combinação de artigos e quantidades que se pretende produzir
- Processo ou características que determinam o artigo a produzir: dimensão, forma e material
- Roteiros e planos de processo para peças incluindo: equipamento, ferramentas e fixadores
- Equipamento disponível: capacidade e quantidade
- Linhas gerais dos artigos: ciclo de vida, volume futuro, restrições, mudanças no projecto ou informação de artigo novo

- Linhas gerais da operacionalidade: dias de trabalho anuais, contratuais, áreas ocupadas, fluxo de material, distâncias e relacionamento com outras áreas
- Dados sobre a disponibilidade, polivalência e custos do pessoal

Estes dados servem de base para estimar os parâmetros necessários como máquinas requeridas, número de pessoas, turnos de trabalho e outros. Identificados estes elementos também se torna mais simples identificar operações que não acrescentam valor ao produto, operações que podem ser eliminadas ou combinadas, operações ou materiais que podem ser normalizados melhorando o fluxo em cada célula.

6.2.2. Restrições ao estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)

As principais restrições ao estabelecimento de parâmetros operatórios são a estratégia de produção (C1) e as famílias de produção dos artigos (C2) que impõe determinada forma de operar.

C1. Estratégia de produção

A estratégia de produção restringe o estabelecimento de parâmetros operatórios pois dependendo do tipo de estratégia os parâmetros podem variar. Por exemplo, se a empresa adopta uma Estratégia de Resposta à Procura (ERP) do tipo de Engenharia por Encomenda (EPE), normalmente, não precisa de armazenar impondo, portanto, um nível de stocks nulos. Outro exemplo pode ser o de responder ao mercado a partir dos stocks implementando uma estratégia de Fabrico para Stock (FPS).

C2. Famílias de artigos e quantidades

Os artigos ou famílias de artigos novos e as quantidades destes planeados no planeamento estratégico da produção, podendo ou não ter originado a necessidade de um novo sistema de produção ou alteração do actual sistema são restrições ao estabelecimento de parâmetros operatórios. Como nesta actividade se pretende estimar alguns parâmetros, nomeadamente, o número de células/linhas, é essencial ter conhecimento de todos os artigos existentes ou novos que aí se pretendem produzir pois restringem as estimativas a fazer.

Mesmo que as novos artigos não se venham a produzir nas células/linhas, eles também concorrem com os existentes pela capacidade disponível no sistema contribuindo para a

o aumento do fluxo de material, sendo indispensável a programação conveniente das necessidades de capacidade.

6.2.3. Mecanismos para estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)

Os mecanismos a utilizar no desenvolvimento desta actividade são as bases de dados, listas e tabelas que contenham informação recolhida na análise da situação actual, o Planeamento Director de Capacidade e a simulação.

M1. Planeamento Director de Capacidade

O Planeamento Director de Capacidade dá uma aproximação das necessidades de capacidade do sistema através das quantidades equacionadas no Plano Director de Produção.

Por exemplo suponhamos um sistema muito simples que vai operar 40 horas semanais e onde é necessário produzir 2 peças (X e Y) em três centros de trabalho: A, B e C. Todas as peças passam pelo centro B, onde é feita a operação mais lenta, assim este centro constitui o estrangulamento bastando fazer os cálculos de capacidade para este centro.

Para uma determinada semana existem encomendas de 5 unidades para a peça X e 10 unidades para a peça Y. Os tempos de processamento e os tempos de preparação estão na Tabela 17.

Tabela 17. Exemplo de cálculo de capacidade

Peça	Operação n.º	Centro de trabalho	Tempo de processamento	Tempo de preparação
X	20	B	1 hora	2 horas
Y	30	B	2 horas	3 horas
Para a peça X: $(5 \times 1 \text{ hora}) + 2 = 7$ horas			Para a peça Y: $(10 \times 2 \text{ horas}) + 3 \text{ horas} = 23$ horas	

No total são necessárias 30 horas para produzir duas peças, portanto para a semana considerada as encomendas podem ser satisfeitas.

M2. Simulação

A simulação, mais uma vez pode constituir uma ferramenta preciosa nesta actividade ajudando no processo de estabelecer alguns dos parâmetros necessários como o número de células, o número de operadores na célula, o tamanho do lote entre outros. Uma forma de fazer isso é construir modelos diferentes que variam de acordo com os factores

que se pretendem estudar. Estes são depois avaliados através dos resultados obtidos pela simulação.

Por exemplo, no trabalho de Chan e Abhary (1996) foram desenvolvidos 4 modelos de com diferentes constituições em quantidades de recursos e em número de células:

Modelo 1 – instalação existente (14 trabalhadores e 2 células);

Modelo 2 – introdução de um Sistema de Produção Flexível (SPF), utilizando a técnica *Production Flow Analysis* (PFA) para formação das células (6 trabalhadores e 6 células);

Modelo 3 – introdução de um SPF, utilizando uma das técnicas de coeficientes de similaridade (3 trabalhadores e 3 células) e

Modelo 4 – rearranjo das máquinas para reduzir o comprimento do transportador (4 trabalhadores e 4 células).

Para avaliação foram ainda considerados factores financeiros como investimento e custo de operação e factores não financeiros como tempo de produção, utilização das máquinas e dos trabalhadores, manutenção, fiabilidade, flexibilidade e a qualidade. O sistema com o melhor desempenho foi depois seleccionado estabelecendo o número de células e o número de operadores.

6.2.4. Saídas do estabelecimento de parâmetros operatórios (A22)

O objectivo desta actividade é estabelecer ou estimar alguns parâmetros operatórios para o desenvolvimento da fase do Projecto Detalhado. Exemplos de alguns desses parâmetros são:

- mistura de artigos
- número de células face às quantidades a produzir
- turnos por dia
- níveis de serviço ao cliente
- políticas de tamanho de lote e de encomenda
- número de operadores por célula
- número de peças que cada operador pode manusear
- movimentação entre operações
- políticas de operação, manutenção e de programação
- tamanho da célula

A informação sobre a mistura de artigos a produzir na configuração seleccionada deve entrar na fase seguinte pois influencia quer a família de peças quer os grupos de máquinas porque estes devem ser preparados de forma a acomodar variações nas características do artigo ou na mistura de artigos. Se a configuração conceptual escolhida foi uma linha de produção dedicada o problema da mistura de artigos não se coloca.

A mistura de artigos é função da procura e pode muito bem mudar com a sua distribuição afectando os agrupamentos efectuados. A selecção de células virtuais ou de células JIT pode ter sido resultado da necessidade de uma configuração rapidamente reconfigurável devido a variações da procura.

Nesta actividade estima-se o número de células ou linhas que se podem basear nas famílias de produção, nas quantidades a produzir, nas restrições de recursos entre outras. Se as famílias de produção vão ser produzidas pela primeira vez convém, se for possível, preparar todos os dados que caracterizem estas famílias incluindo os planos de processo, para os facultar no Projecto Detalhado.

O nível de serviço que se pretende prestar ao cliente deve esclarecer-se para que na formação dos SPOP possam ser tomadas medidas adequadas. Por exemplo, em termos de qualidade a implementação de princípios da Gestão de Qualidade Total que envolve os operadores em todas as fases do fabrico dos produtos (Cheng, 1996), obriga a que todos os operadores tenham conhecimento dos requisitos das operações a realizar, que saibam prevenir os problemas de qualidade, que entendam o impacto dos custos da qualidade e que reduzam ou eliminem os custos da má qualidade.

No estabelecimento do tamanho do lote procura-se encontrar um compromisso entre o custo de preparação e o custo de posse de stock. Lotes grandes significam menos preparações e consequentemente um menor custo de preparação, lotes pequenos significam mais preparações mas menor trabalho em curso de fabrico. Podendo reduzir-se os tempos de preparação (secção 2.2.2.1) a tendência é para os lotes pequenos conseguindo-se uma maior uniformização do fluxo.

Se a célula JIT foi seleccionada então a adopção de um tamanho de lote unitário dentro da célula é o ideal, isto significa reduzir ou eliminar as preparações e consequentemente os tempos de preparação através do domínio da técnica SMED²⁴(Black, 1991).

As políticas de manutenção também devem ser tidas em conta neste processo devido ao envolvimento dos operadores na manutenção preventiva da célula a que pertencem. No caso de uma célula JIT, por exemplo, a manutenção preventiva está inserida na Manutenção Produtiva Total (TPM), um conceito mais alargado pois envolve toda a organização e é incluída na estratégia de negócio da empresa. Conceitos de melhoria contínua, de Controlo de Qualidade Total e envolvimento total são equacionados na TPM (Cheng, 1996).

A estimativa do tamanho da célula nesta actividade é importante porque restringe a fase seguinte do Projecto Detalhado. Esta estimativa deve considerar que células muito pequenas ou muito grandes podem perder alguns benefícios de comportamento como espírito de equipa e enriquecimento do trabalho ou aumentar a entropia na célula. Células grandes conduzem a menor movimentação intercelular mas a maior movimentação intracelular enquanto que células mais pequenas podem conduzir a maior movimentação intercelular.

O espaço disponível, a diversidade dos artigos e a complexidade do agrupamento das máquinas são elementos que também restringem algumas das actividades do Projecto Detalhado pelo que se ficarem clarificados nesta actividade podem contribuir para um melhor desenvolvimento daquelas actividades. O espaço disponível é particularmente importante para tomar decisões sobre os tipos de sistemas de manuseamento de peças enquanto que a diversidade dos artigos e a complexidade do agrupamento das máquinas devem ser considerados nas actividades de selecção de artigos e equipamento.

Além dos parâmetros referidos, são necessárias algumas estimativas de custo pois também eles entram nas actividades seguintes, principalmente:

- Custo de preparação
- Custo de inspecção
- Custos de manuseamento de material
- Custo de ferramentas e dispositivos de fixação

²⁴ Single-Minute Exchange of Dies

- Custo de tempo morto da máquina
- Custo de posse de stock
- Custo de subcontratação
- Custos de replicação de máquinas e outros recursos

A configuração seleccionada influencia alguns tipos de custos, nomeadamente o investimento nas máquinas. Por exemplo na célula híbrida há menores investimentos em máquinas porque este arranjo favorece a partilha destas.

7. PROJECTO DETALHADO (A3)

A maioria de configurações de SPOP discutidos no capítulo anterior são sistemas de produção celulares que implicam na concepção um maior esforço que as linhas de produção. O sistema de produção celular (SPC) tem sido bastante discutido mas o motivo que levanta mais discussões é a formação de células. A formação de células consiste essencialmente na selecção ou identificação de artigos ou famílias de artigos e na selecção ou identificação de equipamento requeridos para o processamento eficiente dessas famílias.

Tal processamento sugere um conjunto de metas ou objectivos táticos e operacionais a atingir. Uma parte importante destes, tipicamente citados na literatura e nas investigações realizadas por Wemmerlöv e Hyer (1989) e Wemmerlöv e Johnson (1997), de interesse industrial incluem:

- Redução dos tempos de preparação;
- Minimização dos trabalhos em curso de fabrico;
- Minimização dos movimentos intercelulares;
- Minimização dos movimentos intracelulares;
- Redução do número de sequências de fabrico;
- Maximização da produção de peças dentro das células;
- Redução do tempo de produção dos artigos;
- Aumento da polivalência dos trabalhadores;
- Minimização da distribuição desequilibrada de carga;
- Minimização dos custos com preparação das máquinas;
- Minimização do investimento em novo equipamento;
- Minimização dos custos com movimentos intercelulares e/ou intracelulares;
- Minimização do custo total de produção;
- Baixo comprimento das filas de espera em cada posto;
- Enriquecimento do trabalho através da realização completa de um produto na célula;
- Redução dos custos com funções como controlo da produção, engenharia, expedição e contabilidade;
- Maior rapidez e resposta às necessidades dos clientes.

Atender a todos os objectivos simultaneamente é impossível devido à natureza contraditória entre alguns deles. Por exemplo, a minimização do movimento intercelular

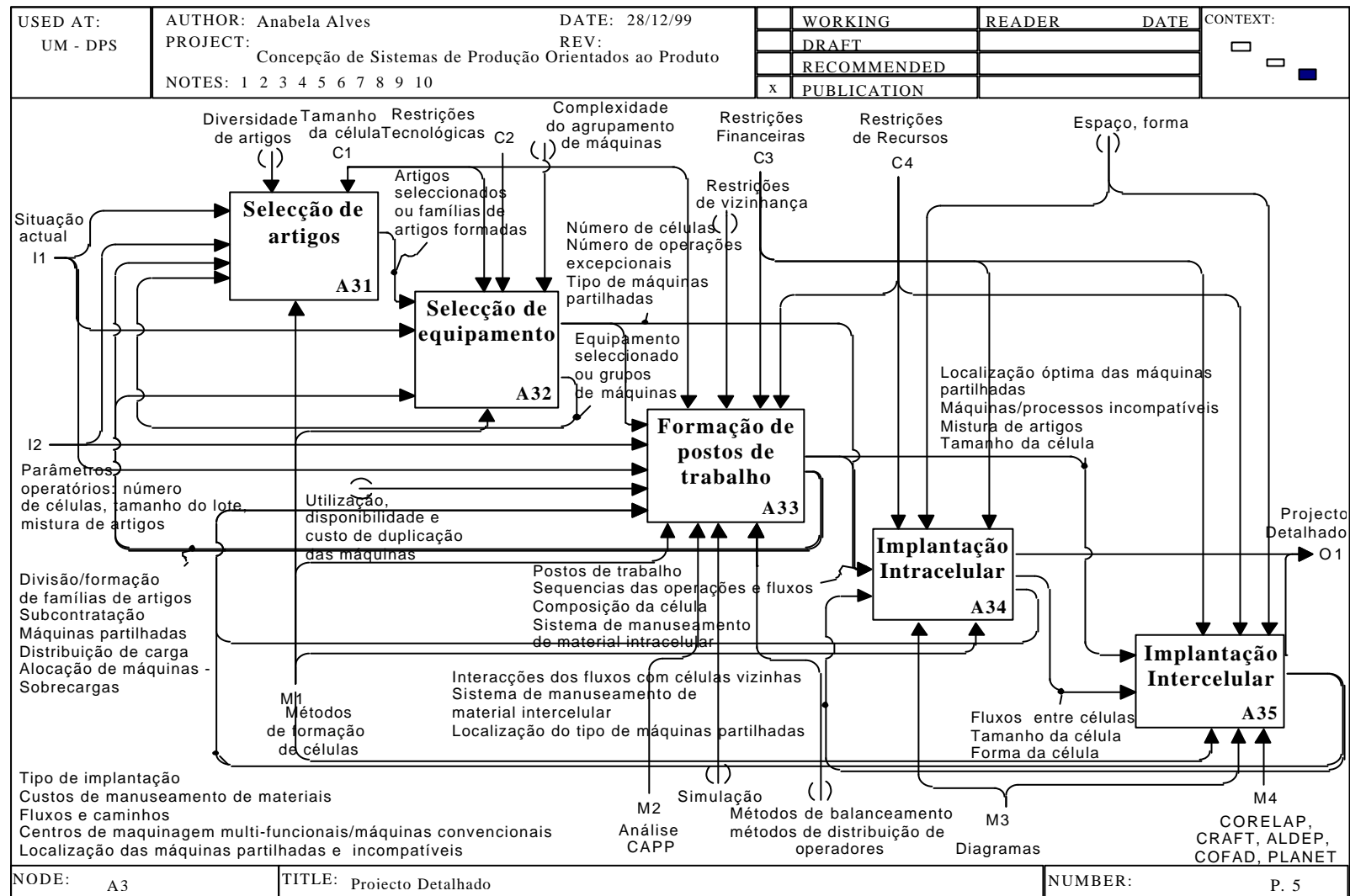
e a minimização do investimento em novo equipamento são incompatíveis porque enquanto que o primeiro apela á constituição de células autónomas o outro apela, de certo modo, à partilha de equipamento para evitar custos com compras. Assim, em geral, é necessário assumir compromissos que equilibrem os objectivos ou então que se pondere bem quais os objectivos mais importantes a atingir.

Pelos objectivos referidos verifica-se que na formação de células também deve estar equacionado o problema da implantação intracelular e intercelular o que faz sentido pois o tipo de implantação escolhida afecta a selecção dos artigos e a formação de famílias, a selecção de equipamento e os agrupamentos de máquinas e os custos de movimentação.

Por esta razão a fase do Projecto Detalhado (A3) não procura apenas a formação de células mas também o tipo de implantação mais adequado dentro de cada célula e entre as células. Assim esta fase é constituída por 5 actividades: selecção de artigos (A31), selecção de equipamento (A32), formação de postos de trabalho (A33), implantação intracelular (A34) e implantação intercelular (A35) (Figura 30).

Os objectivos destas actividades são a configuração física da alternativa seleccionada na fase anterior (A2) e a determinação do número de células/linhas que definem o SPOP.

A selecção dos artigos e/ou a formação das famílias de artigos e a selecção do equipamento podem ser realizadas simultaneamente, enquanto que as outras actividades são realizadas sequencialmente, existindo entre todas um processo iterativo com circuitos de realimentação de informação entre as actividades para a tomada de decisão, como se mostra na Figura 30 .


 Figura 30. Diagrama IDEF₀ para o Projecto Detalhado (nível A3)

7.1. SELECÇÃO DE ARTIGOS (A31)

Esta actividade procura seleccionar os artigos que devem ser produzidos na configuração conceptual escolhida. A configuração pode ser dedicada à produção de um artigo ou de uma família de artigos. Neste caso é necessário seleccionar e agrupar os artigos para formar famílias.

Aspectos e características a considerar na selecção de artigos e/ou formação de famílias de artigos podem ser os atributos de projecto dos artigos como, por exemplo, a forma, o tamanho e o peso, a matéria prima e a função, os atributos de produção como, por exemplo, o processo de fabrico, a sequência de operações, as ferramentas utilizadas, os componentes semelhantes, o tamanho do lote e as quantidades, e a qualidade exigida ou o serviço ao cliente e o conteúdo de engenharia.

Enquanto que a selecção de artigos baseada nos atributos de projecto possibilita o suporte de novas peças através de desenhos existentes e a normalização, evitando a difusão de variedade de peças, a selecção de artigos baseada nos atributos de produção possibilita a redução dos tempos de preparação, a normalização dos planos de processo, a melhoria do fluxo, entre outros. Isto significa que os aspectos a considerar na selecção dos artigos ou na selecção/formação das famílias dependem, muitas vezes, dos objectivos a atingir.

Uma família seleccionada ou formada a partir das características de projecto do artigo como a forma, o tamanho e o peso, normalmente é homogénea. Mas isto pode não acontecer, por exemplo, o agrupamento de artigos com forma semelhante pode significar a formação de uma família com processos de fabrico completamente diferentes porque o material pode ser completamente diferente (Figura 31).

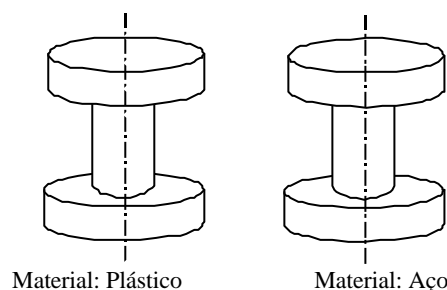


Figura 31. Peças com forma idêntica e processos de fabrico diferentes (Rembold et al., 1985)

As peças podem ser similares na forma e função mas diferirem muito no tamanho, nas quantidades requeridas ou na tolerância e são colocadas em diferentes grupos de máquinas. Podem ser também bastante diferentes na forma e na função mas terem operações comuns e necessitarem do mesmo conjunto de máquinas, sendo, por isso, colocadas na mesma família (Burbidge, 1996).

O conteúdo de engenharia relaciona-se com os produtos normalizados e especiais. A modificação de um produto normalizado pode afectar o fluxo, a sequência, o tempo de fabrico e os materiais usados. Pode ser preferível do ponto de vista operativo preparar uma célula para um produto com características especiais do que alterar uma célula existente.

Outras considerações para a selecção/formação de famílias podem, ainda ser, pelos mercados ou pelos clientes servidos. Quanto aos mercados servidos estas considerações podem ser em relação a produtos específicos ou variantes que tendo características únicas, servem diferentes mercados e requerem diferentes critérios de desempenho, ou em relação à geografia que pode ser uma consideração para produtos com custos de expedição mais caros que a matéria prima (Nyman, 1992).

Na concepção de células de montagem pode ser particularmente importante o mercado ou o cliente servido porque o cliente prefere ver o produto numa célula/linha dedicada do que misturada com os outros produtos. Esta dedicação também facilita a comunicação directa do cliente com os responsáveis pela montagem (Phillips, 1997).

7.1.1. Entradas à selecção de artigos (A31)

A selecção de artigos ou de famílias de artigos requer um conhecimento sobre as características dos artigos a produzir nas células, os planos de processos e roteiros de cada artigo, as quantidades requeridas, a procura e ainda dados das encomendas como o mercado ou clientes a que os artigos se dirigem. O conhecimento destes elementos obtêm-se no desenvolvimento da análise da situação actual (A12) ou no estabelecimento de parâmetros operatórios (A22).

Cada um deles pode ser a base para a constituição de SPOP mas mesmo não o sendo, são relevantes para chegar à configuração física do SPOP pois são informações essenciais para seleccionar e afectar recursos e especificar as implantações.

O estabelecimento de parâmetros operatórios (A22) fornece dados sobre a mistura de artigos, o número de células e o tamanho do lote que entram nesta actividade porque afectam a selecção/formação das famílias de artigos.

Os grupos de máquinas definidos na actividade de selecção de equipamento (A32) também entram nesta actividade pois, por vezes é mais fácil identificar grupos de máquinas e através destes chegar a um conjunto de artigos processados nessas máquinas, sendo estes artigos seleccionados para formarem uma família.

Os outros dados de entrada são resultado de actividades desenvolvidas após esta como os resultados da actividade de formação de postos de trabalho (A33) que são a formação ou divisão das famílias de artigos, a subcontractação, as máquinas partilhadas, a distribuição de carga e a afectação de máquinas e que devem entrar nesta actividade porque podem obrigar a uma nova selecção de artigos e/ou a formação das famílias de artigos.

7.1.2. Restrições à selecção de artigos (A31)

A diversidade dos artigos é um factor restritivo à selecção/formação de famílias de artigos porque quantas mais peças diferentes pertencerem a uma família de artigos menores são os ganhos em tempo de preparação ou outros ganhos de produtividade. Esta diversidade pode resultar de inúmeros factores, nomeadamente, das dimensões das peças, da fragilidade, da facilidade de manuseamento, do tamanho do lote e do tempo de preparação e podem causar a separação ou agrupamento dos artigos.

O agrupamento dos artigos pode ser resultado da necessidade de matéria prima, da similaridade entre elas, do requisito de qualificação dos operários. Por exemplo, a qualificação especial requerida para uma operação pode forçar dois ou mais artigos a ficarem na mesma família para assegurar de que apenas uma célula com operadores qualificados seja suficiente.

Se no estabelecimento de parâmetros operatórios foi especificado um limite para o tamanho da célula em termos de, por exemplo, número de máquinas, este restringe a selecção/formação das famílias de artigos. Supondo, por exemplo, duas famílias cuja única diferença é a necessidade de uma máquina não comum ao processamento das duas, a inclusão desta máquina na célula permite o processamento das duas famílias

nessa célula. No entanto, se o número máximo de máquinas estabelecido na célula for ultrapassado as duas famílias não podem ser processadas na mesma célula.

7.1.3. Mecanismos para selecção de artigos (A31)

Uma linha de produção dedicada é, normalmente, concebida na base de grandes quantidades requeridas para um artigo. No caso dos outros SPOP o problema de selecção de artigos ou famílias de artigos é mais complexo pelo que vários autores desenvolvem métodos para resolver este problema. Em particular as obras sobre o assunto de Moodie et al. (1995), Kamrani et al. (1995), Singh e Rajamani (1996) e recentemente Suresh e Kay (1998) são referências importantes porque dão uma visão geral e abrangente dos métodos desenvolvidos neste domínio.

Os métodos encontrados na bibliografia para a selecção/formação das famílias de artigos são diversos e são, muitas vezes, classificados por vários autores atendendo a diferentes critérios, nomeadamente em relação à técnica que está subjacente ao método ou aos dados de entrada que requerem.

Por exemplo, Shafer (1998) classifica os métodos baseando-se nas técnicas que estão na origem dos métodos. Assim, este autor agrupa-os em seis técnicas: a manual, a classificação e codificação, o agrupamento baseado em coeficientes de similaridade, a manipulação de matrizes, as técnicas matemáticas e a inteligência artificial.

Nesta secção são descritas sucintamente as técnicas referidas e/ou alguns dos seus métodos para a selecção/formação de famílias de artigos. Como técnicas manuais descrevem-se a inspecção visual, o conceito de Máquina Chave, o conceito de Componente Composto e a *Production Flow Analysis*. A programação matemática e a teoria dos grafos são dois exemplos das técnicas matemáticas. Os métodos de reconhecimento de padrões e sistemas periciais, as redes neuronais, os algoritmos genéticos e o *simulated annealing* são exemplos de métodos que tiveram origem na inteligência artificial. Além das técnicas referidas são também apresentadas a classificação ABC e a simulação que não são enquadradas em nenhuma delas.

Algumas técnicas divergem nos aspectos em que se baseiam para seleccionarem os artigos, requerendo, por isso, diferentes dados de entrada para serem aplicadas. Assim há aquelas que se baseiam nas características dos artigos como a inspecção visual, o conceito do Componente Composto e a classificação e codificação, ou nas

características das máquinas como o conceito de Máquina Chave. Alguns sistemas de classificação e codificação, nomeadamente, o sistema Optiz inclui no código alguns atributos de fabrico (Optiz, 1970).

Aquelas que se baseiam na similaridade dos requisitos de processamento como a técnica *Production Flow Analysis*, utilizam normalmente os planos de fabrico ou de processo para registar a relação entre artigos e máquinas que os processam. Esta relação é, muitas vezes, transferida para uma matriz chamada matriz peças/máquinas que é fundamental para a técnica de manipulação de matrizes e para o agrupamento de coeficientes de similaridade, podendo este ainda requerer outros dados como quantidades e tempos de processamento.

Outras técnicas podem utilizar as características dos artigos, a informação dos planos de fabrico ou a matriz peças/máquinas ou ainda outras informações como as quantidades requeridas dos artigos, o fluxo de material, o tamanho do lote e os custos, tais como as técnicas matemáticas, a simulação, a classificação ABC e as técnicas e métodos que derivam da inteligência artificial.

A classificação baseada nos dados de entrada pode facilitar a escolha do método a utilizar. Particularmente num processo de engenharia do sistema de produção em que ainda não existem planos de processo, a utilização de uma técnica baseada nestes é impensável mas a utilização de técnicas que usam as características dos artigos é mais aconselhável.

Na descrição destas técnicas são apresentadas algumas referências, cujos autores tentam resolver o problema da identificação de famílias de artigos de uma forma isolada ou integrada com a resolução dos outros problemas relacionados com o Projecto Detalhado das células (actividades do diagrama da Figura 30). Os seus trabalhos podem assim constituir uma ferramenta ou uma base de trabalho para auxiliar nesta e nas actividades seguintes.

Inspecção visual

A abordagem mais simples e mais económica é a análise visual. Esta abordagem consiste essencialmente em formar famílias de peças através da observação e estudo da geometria (Offodile, 1992). O analista verifica as peças e baseando-se na sua experiência determina grupos apropriados. Além de depender muito do conhecimento e

experiência do analista, esta abordagem envolve um grande dispêndio de tempo e apenas pode resultar se o número de peças não for elevado. Pode, no entanto, ser um método apropriado para a introdução de novos artigos em células já constituídas.

Conceito de Máquina Chave

Segundo o conceito de Máquina Chave²⁵ as células devem ser criadas de forma a que as máquinas mais importantes tenham uma utilização elevada enquanto que ao equipamento menos importante e mais barato pode ser permitida a baixa utilização. A máquina chave será o núcleo da célula ao qual se adicionam todas as outras necessárias à formação da célula (Gallagher, 1973).

Também Burbidge (1992 e 1996) utiliza um conceito similar para iniciar o processo de formação de grupos (módulos). Os primeiros módulos são formados à volta de uma máquina classificada como “especial” cujas operações não podem ser transferidas para outra máquina porque só existe uma deste tipo. Assim todas as peças com uma operação numa máquina especial devem ser processadas no mesmo grupo, para o qual são também requeridas as restantes máquinas necessárias ao processamento destas peças.

Wemmerlöv e Hyer (1989) no seu estudo sobre os utilizadores de células verificaram que muitas empresas utilizavam o conceito de Máquina Chave para formar células, estabelecendo uma máquina, com características importantes, como centro da célula levando ao agrupamento das peças que precisavam desta máquina e consequentemente ao agrupamento das restantes máquinas.

Conceito do Componente Composto

O conceito do Componente Composto²⁶, usado originalmente na Rússia por Mitrofanov (1959), procura dividir a variedade total das peças, primeiro de acordo com a similaridade do equipamento requerido para o fabrico; depois pela forma geométrica, de seguida pelas características de projecto e processamento e finalmente pela similaridade de ferramentas usadas. O processo identifica peças similares e conduz ao desenvolvimento do conceito *Composite part*. O componente composto é uma peça complexa que incorpora todas ou a maioria das características da família de peças similares (Singh, 1996).

²⁵ The Key Machine Concept

²⁶ The Composite Component

Gallagher (1973) apresenta um conceito semelhante. Segundo ele, utilizando o conceito do Componente Composto procura-se combinar componentes com características comuns, como semelhanças no tamanho e forma ou requisitos de processamento, de maneira a formar um único componente composto, real ou hipotético, que se comporte como um grupo ou família de forma a minimizar o tempo de preparação entre lotes de peças numa máquina-ferramenta, de grande exigência em termos de preparação. Numa fase posterior, tal máquina podia ser tratada como uma máquina chave da célula no sentido de reunir todas as outras à sua volta necessárias ao processamento do Componente Composto.

Production Flow Analysis

A *Production Flow Analysis* de Burbidge (1996), referida no capítulo 3, é também utilizada como uma ferramenta de formação de células através da subtécnica *Group Analysis* (GA). Esta planeia a divisão dos departamentos em grupos e resolve uma matriz que mostra todas as peças e todas as máquinas usadas para as processar. A informação dos planos de fabrico ou processo é analisada para identificar famílias de artigos e grupos de máquinas que executam as operações dos artigos.

Para aplicar o GA o autor propõe a classificação das máquinas em 5 categorias, ao que chama de código SICGE:

- S** *special machines* - máquinas especiais, apenas uma de cada tipo, cujo trabalho normalmente não pode ser feito por outro tipo de máquina,
- I** *intermediate machines* - mesmo que S, excepto de que existem mais máquinas de cada tipo,
- C** *common machines* - máquinas comuns, muitas de cada tipo, têm muitas operações que podem ser desempenhadas noutras máquinas, exemplos destas máquinas são os tornos, as furadoras e fresadoras,
- G** *general machines* - máquinas de uso geral, muito poucas de cada tipo, usadas por uma grande variedade de peças, dificilmente poderão ser incluídas num grupo. Geralmente têm de ser instaladas ou como um centro de serviço disponível a outros grupos ou a fase do processamento das peças nessas máquinas deve ser considerada no fim ou no principio da sequência,

E *equipment machines* - ferramentas usadas para auxiliar operações manuais, de baixo custo e por isso de fácil aquisição, não influenciando a forma e o número de grupos formados.

O objectivo desta classificação é conseguir identificar mais facilmente as máquinas e principalmente aquelas que não se podem duplicar nem permitem a transferibilidade das operações para outras máquinas. Para ajudar a identificar e a atribuir o código às máquinas, propõe o algoritmo da Figura 32.

O objectivo principal do GA é juntar peças que usem a mesma combinação de máquinas para serem processadas no mesmo grupo. Segundo o autor de PFA, pode ser conflituoso com o objectivo de juntar peças que sejam semelhantes em forma e função (preconizado pelas originais aplicações de TG porque eram baseadas nos sistemas de codificação e classificação) podendo dar-se o caso de peças semelhantes nestes dois aspectos virem a serem colocados em grupos diferentes se diferirem nas dimensões, material, quantidades requeridas ou tolerâncias.

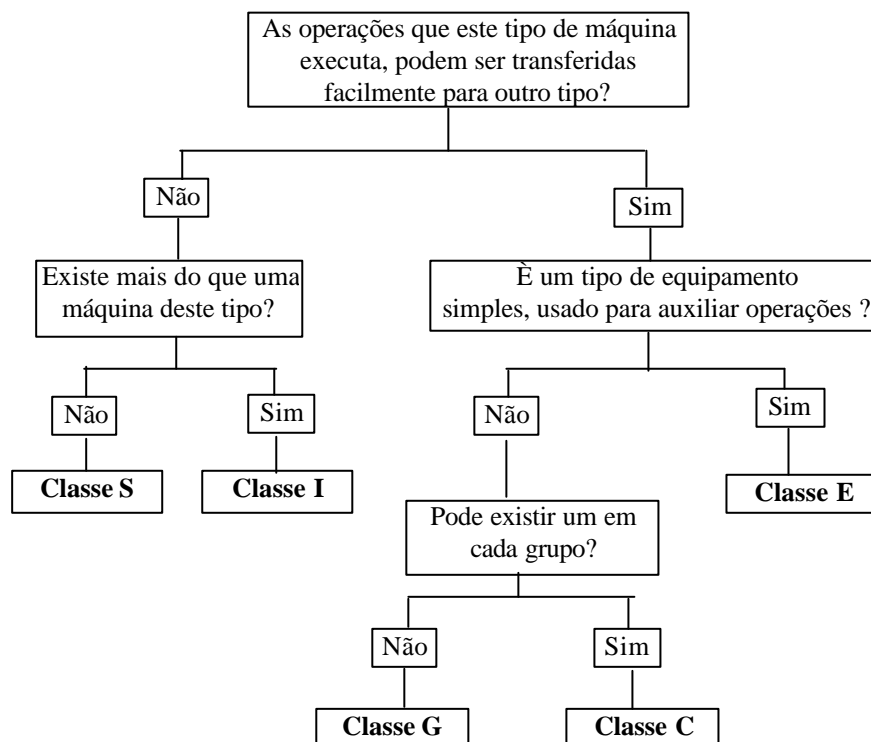


Figura 32. Algoritmo do código SICGE (Burbidge, 1996)

GA começa com uma lista de peças processadas no departamento de máquinas e ferramentas usadas para as operações de processamento, assim como todos os dados sobre as operações (número de operação, tempo de processamento,...). De seguida vai

tentar encontrar os módulos baseados nas máquinas chave. As máquinas chave, classificadas segundo os códigos SICGE e listadas numa *Special Plant List* são procuradas pela ordem SICGE (primeiro S, depois I,...).

As máquinas chave são, assim ordenadamente seleccionadas para formar os módulos, começando pelas máquinas especiais (S). Cada módulo consiste num conjunto de peças que requerem uma determinada máquina chave. Os módulos similares são depois combinados para formar grupos.

O principal objectivo na formação dos grupos é encontrar um conjunto de peças (famílias) que possam ser completamente processadas usando um conjunto de máquinas (grupo). A abordagem para encontrar os grupos procura primeiro os módulos baseados nas classes S e I, depois os módulos baseados na classe C, pesquisa possíveis grupos adicionais e adiciona módulos não afectados a grupos. Os grupos, segundo GA, completam todas as peças da família e, com poucas excepções, não é necessário o movimento de material entre os grupos.

Classificação e codificação

A aplicação da classificação e codificação faz-se através dos sistemas de classificação e codificação (CC). Os sistemas CC são sistemas que organizam entidades similares em grupos (classificação) atribuindo depois um código a estas entidades (codificação). Estes sistemas permitem a selecção/formação das famílias de artigos na medida em que fornecem uma estrutura para a classificação dos artigos em grupos baseados nos atributos dos artigos e facilitam a recuperação de informação relativa à família através do código atribuído (Tatikonda, 1992).

Além de contribuir para a selecção/formação de famílias de artigos, a utilização do sistema de classificação e codificação traz benefícios a muitas áreas da empresa, nomeadamente, na engenharia, no planeamento de processo e no controlo da produção e qualidade (Rembold, 1985).

O sistema de classificação e codificação baseia-se, principalmente, em três categorias: nos atributos de projecto, nos atributos de produção das peças ou em ambos os atributos. Os atributos de projecto são as características ou atributos dos artigos como, por exemplo, forma, função, dimensão, tipo de material, tolerância e acabamento. Os atributos de produção são por exemplo, o processo principal, a sequência de operações,

o tempo de produção, o tamanho do lote, as máquinas, as ferramentas e a produção anual (Groover, 1980).

O esquema de codificação das peças consiste numa sequência de dígitos que identificam os atributos de projecto e de produção do artigo. A título de exemplo considere-se o sistema de codificação de Opitz (Rembold, 1985). O código de identificação deste sistema tem um máximo de 13 posições. Cada posição pode assumir 10 valores diferentes (atributos). Os primeiros 9 dígitos relacionam-se com os dados de projecto e de fabrico. Os primeiros 5 (1 a 5) dígitos são chamados de código principal e descrevem os atributos de projecto da peça. Os 4 dígitos seguintes (6 a 9) são o código suplementar e indicam alguns atributos de fabrico como as dimensões, forma original da matéria prima, tipo de material e precisão. Os últimos 4 dígitos (10 a 13) formam o código secundário e indicam as operações e sequência. A descrição completa deste sistema pode encontrar-se em Opitz (1970).

Teicholz (1987) considera que, existindo matrizes de codificação indicando as possibilidades de processamento de máquinas-ferramentas, é possível identificar se uma peça com um determinado código pode ou não ser processada numa máquina-ferramenta particular. A peça pode ser processada se o código intercepta a matriz de possibilidades da máquina-ferramenta. Por exemplo, duas peças diferentes estão identificadas na Figura 33. A primeira peça tem um número de código que é 1220 3251 1141; a segunda possui o código 1210 3911 1132. Poderão as duas peças serem processadas no mesmo torno?

As possibilidades de processamento do torno são expressas pela matriz representada na Figura 33, assim como os atributos das peças que podem ser processados neste torno. Uma peça com um valor de 1 na primeira posição do código pode potencialmente ser processada no torno porque existe nessa posição da matriz uma entrada “x”. No entanto, uma peça com um valor de 2 ou 4 na primeira posição não pode.

Para a primeira peça verifica-se que o código intercepta o conjunto de códigos expressos na matriz do torno e assim a peça pode ser processada neste torno. Com a segunda peça o mesmo já não se pode dizer pois a sexta posição do código que é um 9 não intercepta a matriz. Uma vez que, esta posição particular define a dimensão significa que a peça em questão é muito grande para ser processada neste torno

específico. Este processo conduz à associação de famílias de peças codificadas com máquinas-ferramentas ou grupos de máquinas-ferramentas dedicadas.

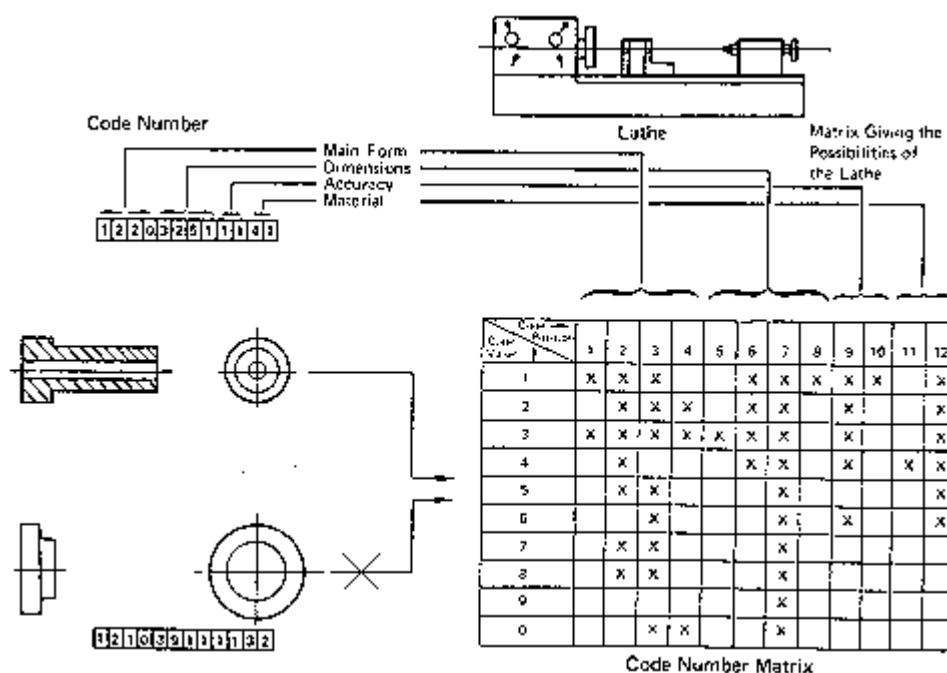


Figura 33. Matriz de códigos de possibilidades de processamento para o torno representado (Teicholz, 1987)

A aplicação de um processo com este princípio estendido a células, isto é, ter matrizes de possibilidades para as células em relação aos artigos que aí pudessem ser processados num ambiente fabril seria bastante vantajoso pois na introdução de um novo artigo na produção seria relativamente fácil identificar as células que o iriam produzir.

Agrupamento baseado em coeficientes de similaridade

Os primeiros trabalhos do agrupamento baseado em coeficientes de similaridade, que passam pela aplicação de algoritmos de agrupamento à selecção de máquinas para formar grupos, devem-se a McAuley em 1972. Este autor aplicou inicialmente o algoritmo Single Linkage Clustering para encontrar grupos de máquinas podendo também ser aplicado para encontrar as famílias de artigos (Singh, 1996). Outros métodos foram então desenvolvidos, nomeadamente, Average Linkage Clustering e Complete Linkage Clustering.

Este tipo de métodos requer a matriz peças/máquinas podendo, no entanto, ter flexibilidade para considerar outros dados como quantidades, sequências, tempos de

processamento e de preparação entre outros dependendo isto do procedimento do método escolhido. Usando a informação da matriz peças/máquinas é realizado o cálculo de coeficientes de similaridade entre cada par de máquinas ou peças.

Sucessivamente vai-se agrupando (por um processo de agrupamento dependente do algoritmo utilizado) pares de máquinas (peças) até que o número desejado de grupos de máquinas (peças) seja obtido ou todas as máquinas (peças) tenham sido combinadas. Estes grupos são obtidos a partir de uma árvore ou dendograma (Figura 34) que mostra a hierarquia das similaridades entre todas as máquinas. Se é para formar dois grupos de máquinas então esses grupos são: (1, 3 e 6) e (4, 2, e 5) com um coeficiente de similaridade de 0.5.

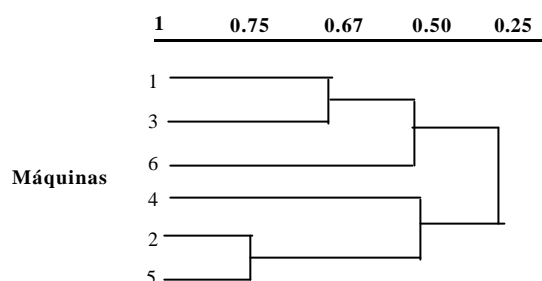


Figura 34. Exemplo de um dendograma

Outros coeficientes, por vezes, considerados são: coeficientes de dissimilaridade entre peças; compatibilidade entre peças e máquinas; dissimilaridade entre máquinas; similaridade de ferramentas; de similaridade entre máquinas e operadores e de similaridade entre códigos de classificação.

Por exemplo, a formação das famílias de peças pode basear-se numa medida de similaridade entre duas peças em termos da sua sequência de operações, medida utilizada por Choobineh (1988) e Vakharia e Wemmerlöv (1990). Ao contrário destes, Ribeiro e Pradin (1993) utilizaram um coeficiente de dissimilaridade entre peças quantificando as diferenças entre as suas sequências das operações.

Os problemas associados com esta abordagem relacionam-se com a selecção do critério de agrupamento, a selecção da medida de desempenho e a determinação do número de famílias de peças (Singh, 1996).

Manipulação de Matrizes ou de Agrupamento baseado em Matrizes

Os métodos de manipulação de matrizes são algoritmos que manipulam colunas e linhas que relacionam as operações das peças com as máquinas onde são executadas,

informação que se pode encontrar nos planos de processo. Um exemplo de uma matriz 4x5 encontra-se na Figura 35, em que a representação de um “1” na posição $p_i m_j$ significa que a peça p_i requer a máquina m_j ($i=1, 2, 3$ e 4 e $j=1, 2, 3, 4$, e 5).

	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
p_1	1	1			
p_2		1	1		
p_3			1	1	1
p_4				1	1

Figura 35. Exemplo de uma matriz de peças por máquinas

A identificação das famílias de peças e dos grupos de máquinas, através da troca entre linhas e colunas da matriz, é conseguida quando surgem agrupamentos independentes que significam que cada família é processada no grupo de máquinas respectivo sem interacção entre outros grupos.

Mas estes agrupamentos independentes nem sempre, ou raramente, são conseguidos. Quando existem elementos que não se integram nestes agrupamentos (elementos excepcionais), significa que se requer movimento intercelular das peças. Antes de aceitar esta situação, e porque se sabe que acarreta custos de manuseamento, pode-se tentar eliminar estas excepções através de procedimentos adequados (Singh, 1996).

Existem muitos algoritmos deste tipo, que diferem principalmente na forma como reorganizam as colunas e as linhas. São exemplos o *Direct Clustering Algorithm* (DCA) (Chan, 1982), o *Rank Order Clustering* (ROC) (King, 1979) e o *Rank Order Clustering 2* (ROC2) (King, 1982).

Estes métodos são incapazes de lidarem com a replicação de tipos de máquinas. A sequência das operações, os tempos de processamento, as quantidades de produção, a capacidade das máquinas, entre outros aspectos são ignorados na matriz. Quando uma peça requer mais do que uma operação numa máquina, esta situação também não é identificável na matriz. Pode-se, assim, verificar que são muito restritivos no tratamento do problema. No entanto, fornecem uma primeira solução em que os elementos excepcionais e os grupos obtidos podem depois ser analisados mais detalhadamente com a inclusão de aspectos não considerados inicialmente (Singh, 1996).

Teoria dos Grafos

Na teoria dos grafos a matriz de peças/máquinas é representada por um grafo (Figura 36 que apresenta o grafo correspondente à matriz da Figura 35). Kusiak e Chow (1988) distinguem três tipos diferentes de grafos: grafos bipartidos, grafos de transição e grafos fronteira.

Nos grafos bipartidos um conjunto de nós representam as máquinas e outro conjunto representam as peças existindo um arco entre uma máquina e uma peça se a peça é processada na máquina. A Figura 36 é um exemplo de um grafo bipartido. Neste tipo de grafo pode identificar-se simultaneamente famílias de peças e grupos de máquinas através da partição sucessiva do grafo original em subgrafos.

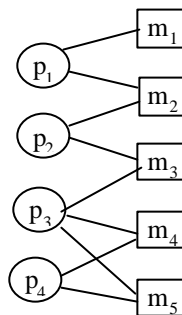


Figura 36. Exemplo de um grafo bipartido

Nos grafos de transição uma peça (ou máquina) é representada por um nó e a máquina (ou peça) ou o relacionamento entre as máquinas (ou peças) é representado por um arco. Song e Hitomi (1992), Rajagopalan e Batra (1975) e Irani et al. (1993) desenvolveram grafos deste tipo para tratar o agrupamento de máquinas e a implantação. Os arcos dos grafos de Song e Hitomi (1992) representam o número de peças movimentadas entre as máquinas. Em Rajagopalan e Batra (1975) e Irani et al. (1993) os arcos representam um relacionamento entre as máquinas. A partição sucessiva dos grafos que conduz ao agrupamento das máquinas é baseada nas relações mais fortes entre máquinas.

Os grafos fronteira consistem numa hierarquia de grafos bipartidos. Em cada nível do grafo fronteira, os nós do grafo bipartido podem representar máquinas ou peças. O grafo fronteira correspondente á matriz da Figura 35 apresenta-se na Figura 37.

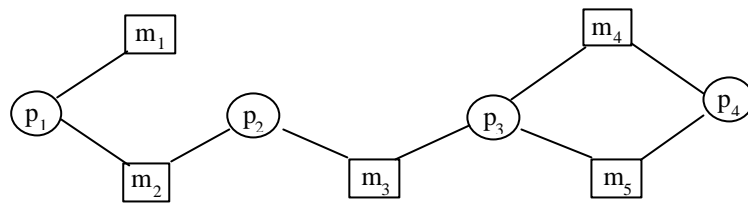


Figura 37. Exemplo de um grafo fronteira

Este tipo de grafo pode ser aplicado para determinar peças/máquinas que constituem estrangulamentos. No caso da Figura 37, a remoção da peça 2 (p2) resulta em dois subgrafos mostrados na Figura 38.

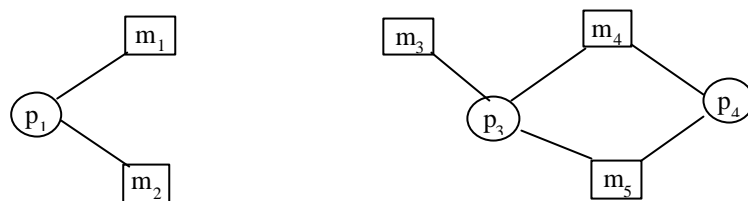


Figura 38. Obtenção de dois subgrafos a partir do grafo da Figura 37

A determinação da peça ou máquina estrangulamento num grafo é uma tarefa complexa mas são vários os autores que tentam resolver o problema (Kusiak,1988) e (Singh, 1996).

Programação matemática

Os modelos de programação matemática como programação linear, não linear, inteira, dinâmica e *branch & bound*, entre outros, também são usados para formação de células.

Chu (1995) estudou a aplicação dos modelos de programação matemática ao problema de formação das células. Verificou que dependendo do modelo considerado, das funções objectivo escolhidas e das restrições, o problema poderia ser formulado de forma diferente. Segundo o autor as funções objectivo normalmente consideradas por estes modelos podem classificar-se, da seguinte forma, onde min. significa minimizar e max. maximizar:

Medidas baseadas nos coeficientes

- Max. similaridade total entre peças
- Max. similaridade total entre máquinas
- Max. similaridade total entre máquinas e operadores
- Max. compatibilidade total entre peças e máquinas
- Min. dissimilaridade total entre peças

- Min. dissimilaridade total entre máquinas
- Min. distancia total entre peças
- Min. distancia total entre códigos de classificação

Medidas baseadas nos custos

- Min. custos totais de movimento intercelular
- Min. custos totais de investimento em máquinas
- Min. custos de processamento e utilização das máquinas
- Min. custos totais de movimento intracelular
- Min. custos de duplicação das máquinas
- Min. custos de ter máquinas subtilizadas
- Min. custos de preparação devido a sequência
- Min. custos de ferramentas e dispositivos de fixação
- Min. custos de stock finais e intermédios
- Min. custos de subcontratação
- Min. custos de utilização de espaço
- Min. custos de incorrer em penalidades por entrega tardia ou adiantada
- Min. custos para expansão
- Min. custos de trabalho

Medidas baseadas na operação

- Min. número de movimentos intercelulares
- Min. o não balanceamento da carga intercelular
- Min. número de movimentos intracelulares
- Min. o não balanceamento da carga intracelular
- Min. tempos totais de preparação
- Min. horas de maquinagem
- Min. variação da carga da célula
- Max. número de peças produzidas
- Max. utilização média da célula
- Min. número de elementos excepcionais
- Max. utilização das máquinas
- Optimizar as capacidade do operador

As restrições associadas à formação das células consideradas na construção dos modelos podem ser restrições lógicas, de dimensão da célula, físicas e de modelação (Chu, 1995). As restrições lógicas evitam que contradiga o senso comum, por exemplo, se afectem a diferentes células a mesma máquina ou o mesmo operador.

As restrições de dimensão da célula são consideradas para restringir o número de peças, as máquinas ou o número de operadores permitido dentro da célula devido a limitações de capacidade, de espaço ou até mesmo de controlo. Esta restrição pode ser por limite máximo ou mínimo, uma vez que é necessário assegurar que não haja desperdício de recursos com a duplicação excessiva de recursos.

Como exemplo de restrições físicas tem-se, por exemplo, o orçamento, o espaço, a capacidade e o número de máquinas disponíveis de cada tipo.

As restrições de modelação prendem-se principalmente com as variáveis de decisão, os parâmetros e as funções objectivo a considerar nos modelos.

Chu (1995) verificou ainda que a aplicação de diferentes modelos também difere muito de acordo com os dados de entrada considerados, a lógica de formação procurada e o tipo de soluções pretendido. Os dados de entrada considerados como requisitos mínimos de base são os dados do plano de processo e as características de projecto mas ao tentar que os modelos contemplem situações mais próximas da situação real faz criar uma necessidade em outro tipo de dados como, por exemplo, número de células e dimensão da célula.

A lógica de formação prende-se com o tipo de agrupamento pretendido pelos modelos. Estes podem considerar diferentes lógicas de formação: apenas agrupamento de famílias de artigos, agrupamento de famílias de artigos e depois de máquinas ou vice versa, agrupamento de famílias de artigos e de máquinas simultaneamente e apenas agrupamento de máquinas.

A grande dificuldade à aplicação extensa da programação matemática é que com o aumento da dimensão do problema, o tempo computacional para obter uma solução optimizada aumenta exponencialmente tornando-se um problema pertencente á classe NP (French, 1982). Duas formas de ultrapassar esta dificuldade são possíveis. Uma dessas formas é desenvolver procedimentos heurísticos que conduzem a soluções

heurísticas e a outra forma é decompor o modelo em submodelos resolvendo cada submodelo individualmente por procedimentos óptimos ou heurísticos.

Algumas das observações de Chu (1995) sobre a aplicação dos modelos de programação matemática é que, por um lado, têm flexibilidade suficiente para incorporar objectivos práticos e restrições no modelo apesar deste poder ficar demasiado complexo para ser resolvido. Por outro lado, a afluência de objectivos e restrições que podem ser considerados é tão grande que a sua selecção para a construção do modelo deve ser extremamente cuidadosa e ir de encontro às necessidades individuais.

Tipicamente estes modelos consideram o sistema num ambiente estático, isto é, sem ter em conta a variabilidade do sistema, pelo que muitas vezes são usados como métodos auxiliares à resolução do problema como em Irani et al. (1993) ou combinados com outras abordagens como em Choobineh (1988), Co e Araar (1988) e Song e Hitomi (1992).

Choobineh (1988) além de usar um algoritmo de agrupamento utiliza também um algoritmo de programação inteira para formar e configurar as células, atendendo à minimização da soma dos custos de produção com os de aquisição e manutenção das máquinas.

Métodos de Reconhecimento de Padrões e Sistemas Periciais

Os métodos de reconhecimento de padrões e os sistemas periciais (secção 5.3.3) também têm sido aplicados ao problema da formação de células por alguns autores, nomeadamente, Ho e Moodie (1994), Kusiak (1988) e Sagi e Chen (1995).

Ho e Moodie (1994) apresentam um método heurístico de identificação de sequências padrão que usam para projectar células de montagem com fluxos tão procedentes quanto possível. Primeiro é definida uma sequência padrão como um conjunto de operações que aparecem frequentemente numa determinada ordem que é depois usada no reconhecimento de padrões no conjunto total das sequências das operações para os vários produtos.

Kusiak (1988) usa um sistema pericial e um algoritmo de agrupamento iterativamente. O algoritmo de agrupamento baseado em matrizes é usado para desenvolver as células. O sistema pericial interage com o algoritmo para avaliar soluções parciais geradas pelo algoritmo, verificando se um número de restrições não expressas na formulação do

algoritmo de agrupamento como a capacidade das máquinas e restrições tecnológicas, são satisfeitas. Se as restrições forem violadas o sistema pericial sugere acções como a duplicação da máquina ou a escolha de um sistema de manuseamento.

Sagi e Chen (1995) desenvolveram um sistema de apoio à decisão (secção 5.3.3) que emprega a simulação, as redes neuronais e os sistemas periciais para projectar células. O papel dos sistemas periciais era, através da base do conhecimento constituída por conjuntos de regras, estabelecer as relações entre as configurações, o custo de controlo e a complexidade da função de controlo.

Redes Neuronais

As redes neuronais originalmente aplicadas em áreas como reconhecimento de padrões, optimização combinatorial e robótica e controlo de processos, estendeu-se entretanto à área de projecto e produção e particularmente à área de formação das células (Wang, 1993) e continua sendo aplicada (Venugopal, 1998).

Os modelos de redes neuronais procuram imitar a forma como os neurónios do cérebro podem gerar decisões inteligentes. Basicamente uma rede neuronal artificial consiste num número de unidades de processamento (neurónios) ligados por conexões directas, com um determinado peso associado. Este peso representa a força das conexões e pode ser positivo (excitadores) ou negativo (inibidores). Cada unidade recebe sinais de entrada através destas conexões, depois aplica-lhes uma função linear ou não linear à soma das entradas e responde emitindo um sinal. Esta operação é desempenhada de uma forma dinâmica, concorrente e contínua para cada unidade de processamento da rede (Singh, 1996).

Existem muitos modelos de redes neuronais que tentam simular vários aspectos da inteligência, podendo incluir todos ou alguns dos seguintes componentes (Singh, 1996):

1. Unidades de processamento: as decisões iniciais podem ser sobre quantas unidades são necessárias, como organizar estas unidades e o que representa cada unidade;
2. Padrão de conectividade: especifica como as unidades de processamento são interconectadas, se estas são excitadoras ou inibidoras e a afectação do peso às conexões;
3. Estado de activação: normalmente tomam valores contínuos ou discretos;
4. Regra de activação: determina os valores do sinal de saída;

5. Função de saída: determina se os valores de saída devem ser gerados dado o estado de activação de cada unidade;
6. Regra de propagação: dita como actualizar os valores de activação de cada unidade dado um novo conjunto de pesos para as conexões e os valores de sinal de saída das outras unidades;
7. Regra de aprendizagem: especifica uma modificação sistemática dos pesos de conexão e valores de activação, conduzindo à alteração destes e á aprendizagem.

Venugopal (1998) classificou as redes neuronais aplicadas à formação das células de acordo com o tipo de entrada, o modo de aprendizagem e o tipo de modelos usados. Os tipos de entradas requeridos podem ser os requisitos de processamento das peças ou a dimensão, forma e características de projecto das peças. O tipo de aprendizagem pode ser supervisionada ou não supervisionada.

Aprendizagem supervisionada requer a comparação do valor de entrada com um valor objectivo que representa a saída desejada, assim os pesos vão sendo alterados iterativamente na base dos erros entre as saídas actuais e as saídas desejadas.

Na aprendizagem não supervisionada não existe nenhum valor objectivo pelo que inerente a esta aprendizagem há um mecanismo que reconhece e captura regularidade (similaridades) nos valores de entrada e vai criando classes representadas por um valor exemplar.

O modelo ART1²⁷ utilizado por Kaparathi e Suresh (1992) e Dagli e Huggahalli (1993) tem como entrada a matriz de peças/máquinas e utiliza o modo de aprendizagem não supervisionada. As colunas e as linhas da matriz são considerados vectores binários que constituem entradas à rede neuronal.

O modelo IAC²⁸ utilizado por Moon (1993) além de requerer a matriz peças / máquinas, requer ainda matrizes de similaridade para as peças e para as máquinas. Os pesos das conexões entre tipos de peças e tipos de máquinas derivam destas matrizes. Neste modelo não é usado nenhum modo de aprendizagem, apenas valores de activação para formar as famílias de peças e grupos de máquinas. Este modelo permite ainda a introdução de factores como diferentes planos de processo para cada peça, sequências de operações, custos de produção, tempos de processamento e tamanho do lote.

²⁷ Adaptive Resonance Theory

²⁸ Interactive Activations and Competition

No sistema de apoio à decisão desenvolvido por Sagi e Chen (1995) as redes neuronais são capazes de dar como saída uma configuração de célula apropriada, tendo um conjunto de medidas de desempenho do sistema e dados armazenados numa base do conhecimento ou gerados pelas replicações da simulação. A aprendizagem é supervisionada por um modelo de retropropagação, isto é, a configuração de entrada é comparada com a que se pretende obter, o erro entre elas é medido e transmitido para modificar e actualizar os pesos das conexões, corrigindo o erro.

Os modelos das redes neuronais podem classificar novas peças (máquinas) a grupos existentes sem ter que considerar o conjunto total dos dados tornando-os capazes de manusear grandes conjuntos de dados. Têm a capacidade de aprender padrões complexos e generalizar rapidamente a informação aprendida e ainda a capacidade de trabalhar com informação incompleta (Venugopal, 1998).

Estes modelos também têm algumas desvantagens e limitações como enorme dispêndio de tempo na configuração da rede, representação do conhecimento pouco clara (Sagi 1995), que alguns autores, nomeadamente, Suresh e Kaparthi (1994), procuram eliminar através de novos modelos ou melhorias a modelos existentes. Estes autores apresentam o modelo Fuzzy ART para tentar melhorar alguns aspectos limitativos dos modelos das redes neuronais como ART1, ART1/KS (modificação da ART1) e modelos de outras abordagens como os algoritmos de agrupamento DCA e ROC2 na aplicação ao problema da formação das células.

Algoritmos Genéticos

Os algoritmos genéticos são algoritmos eficientes de pesquisa estocástica que emulam fenómenos naturais e que tem sido usados para resolver uma ampla série de problemas de optimização, especialmente problemas combinatoriais (Joines, 1998).

Segundo Holland (1992, citado em Singh, 1996) um algoritmo genético é uma técnica inspirada no processo da evolução natural pela implementação de uma estratégia de “sobrevivência do mais adaptável”. Na evolução o problema que cada espécie enfrenta é o de procurar adaptações benéficas a um ambiente complicado e em mudança. O conhecimento que cada espécie adquire é embebido nos cromossomas dos seus membros.

Esta técnica assenta em seis conceitos chave: representação, inicialização, função de avaliação, reprodução, cruzamento e mutação.

No âmbito da formação das células, cada gene representa um número de célula e a posição de cada gene no cromossoma representa um número de máquina ou um número de peça (Singh, 1996). O processo de inicialização pode ser executado com uma população gerada aleatoriamente ou uma população bem adaptada (semente).

A função de avaliação ou adaptabilidade é calculada para cada individual na população e o objectivo é encontrar um individual com um valor máximo. O objectivo do problema da formação das células é minimizar a soma pesada de elementos vazios e excepcionais. É necessário delinear este objectivo numa função de adaptabilidade através de um ou mais planos.

Segundo Goldberg (1989, citado em Singh, 1996) os indivíduos com um maior valor de adaptabilidade são seleccionados para cruzamento e mutação usando um processo de selecção de amostragem estocástica sem substituição. Os cromossomas a serem cruzados e os pontos de cruzamento são seleccionados aleatoriamente.

Joines (1998) utilizam um algoritmo genético para formar as células equacionando factores restritivos, fluxos alternativos e procura para as peças. Estes algoritmos além de serem usados no problema da formação das famílias também são usados nos problemas posteriores à formação de células não independentes, isto é que permitem movimentos intercelulares e que tentam minimizar estes movimentos como mostra o trabalho de Cheng et al. (1998).

Simulated Annealing

Os algoritmos decorrentes da técnica de *Simulated Annealing* são, tal como os anteriores, algoritmos de pesquisa estocástica mas neste caso derivam da Física. A natureza estocástica do algoritmo permite-lhe procurar um espaço de um estado e encontrar soluções óptimas ou próximas do óptimo (Joines, 1998).

A técnica de *Simulated Annealing* é baseada no modelo de Monte Carlo usado para estudar a relação entre a estrutura atómica, a entropia e a temperatura durante a têmpera dos metais. Esta técnica simula o processo de arrefecimento de um sistema físico de forma a este atingir um estado de energia mínima.

Esta técnica depende de três conceitos chave. O primeiro referido como a “temperatura”, é essencialmente o parâmetro que controla a probabilidade que uma solução que aumente o custo seja aceite (problema de minimização). Durante o processo a temperatura será reduzida periodicamente, reduzindo a probabilidade de aceitação daquela solução. A solução neste caso refere-se aos agrupamentos de peças/máquinas.

O segundo conceito é o “equilíbrio”, ou a condição para a qual é improvável que mudanças significativas na solução ocorrerão com amostragem adicional. Por exemplo se um grande número de trocas forem feitas para a uma dada temperatura sem encontrar uma melhor solução é improvável que aumentar a amostra tenha resultados produtivos.

O terceiro conceito é o “programa da têmpera” que define o conjunto de temperaturas a ser usado e quantas trocas a serem consideradas (ou aceites) antes de reduzir a temperatura. Se existir um número pequeno de temperaturas ou poucas trocas foram realizadas em cada temperatura, existe uma grande probabilidade de parar o processo com uma solução subótima.

Os passos principais para obter os agrupamentos são: obtenção de solução inicial, geração de soluções de vizinhança, aceitação ou rejeição da solução gerada e término (Singh, 1996).

Em primeiro lugar é especificado o número máximo de células. Uma afectação de máquinas inicial às células é gerada usando uma regra predefinida. Em cada iteração a geração de soluções é conseguida movendo uma máquina (escolha aleatória) da corrente célula para uma outra célula (escolha aleatória), formando uma nova afectação de máquinas. As peças são alocadas a esta nova afectação e o valor objectivo é calculado.

A solução gerada é aceite se o valor da função objectivo melhora. Se isto não acontecer a solução é aceite com uma probabilidade dependente do valor da temperatura (parâmetro) que é preparado para aceitação de uma grande proporção de soluções geradas no principio. Depois, este valor é alterado para reduzir a probabilidade de aceitação. Em cada temperatura muitos movimentos são tentados e o algoritmo pára quando as condições predefinidas são encontradas. O fim é chegado quando se chegou ao máximo de iterações ou a um rácio de aceitação está abaixo de um determinado valor (Singh, 1996).

Exemplos de aplicação do *Simulated Annealing* ao problema da formação das células são os trabalhos de Kaebernick e Bazargan-Lari (1996) e Elwany et al. (1997).

Classificação ABC

A classificação ABC consiste em diferenciar os artigos consoante o valor de saídas anuais de stock. Esta classificação é baseada na Lei de Pareto que se pode enunciar neste caso: cerca de 20% dos artigos representam 80% do valor total das saídas enquanto os 80% restantes são responsáveis apenas por 20%, razão pela qual é, muitas vezes, designada de regra 80/20 (Courtois, 1996).

Os artigos são ordenados numa tabela por ordem decrescente dos totais de valor das saídas anuais de stock calculando-se de seguida as percentagens respectivas em valor e em número de artigos. Nesta tabela identifica-se os 20% do número total de artigos que correspondem a 80% (ou próximo) das saídas anuais. Estes artigos correspondem à classe A.

Nos restantes 80% do número total de artigos estão as classes B e C. Estas classes dos artigos podem representar-se graficamente numa curva ABC ou curva de Pareto onde as abcissas correspondem aos diferentes artigos e as ordenadas ao valor acumulado das saídas em stock (Figura 39).

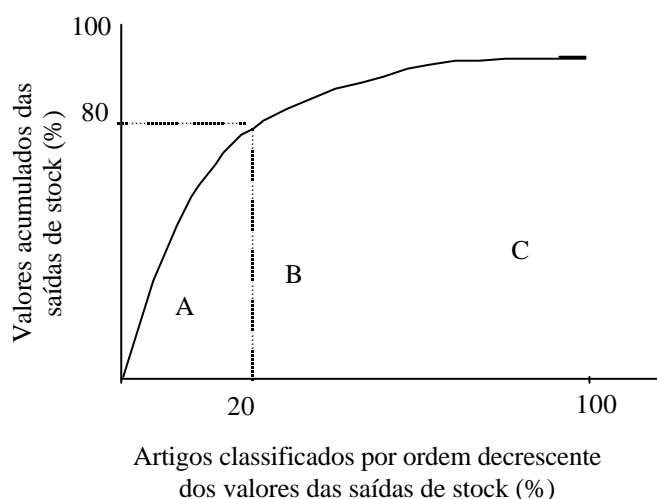


Figura 39. Exemplo de uma curva ABC (Courtois, 1996)

A classificação ABC também pode ser realizada atendendo, não ao valor, mas às quantidades dos artigos, sendo designada por alguns autores, nomeadamente, Sekine (1990), de análise Produto–Quantidade ou análise ABC por quantidade (Reis, 1994). O princípio aplicado é o mesmo mas para a formação das células é mais importante a

realização de uma análise P-Q do que uma análise ABC por valor pois as quantidades estão directamente relacionadas com o fluxo produtivo.

A classificação ABC, como abordagem à selecção/formação das famílias de artigos, tem, principalmente, o papel de eleger os artigos a fabricar, isto é, de identificar as famílias a produzir em células. Esta abordagem tem sido bastante utilizada em células de trabalho JIT principalmente no *Toyota Sewing System* (Reis, 1994).

Identificadas os artigos pertencentes à classe A da análise ABC analisam-se as sequências de fabrico para encontrar as famílias de artigos a serem produzidas na mesma célula ou em células diferentes (Aguiar, 1994).

Simulação

Novamente a simulação pode ser uma ferramenta útil e tem sido aplicada com sucesso à concepção e operação dos sistemas de produção. No âmbito da formação das células podem construir-se modelos que representem constituições diferentes para células em termos de agrupamentos de máquinas, de selecção de peças a produzir, de número de operadores entre outros factores.

No trabalho de Sagi e Chen (1995) já referido, os autores, além dos sistemas periciais e das redes neuronais também usam a simulação. O objectivo da simulação é avaliar configurações alternativas de células com diferentes parâmetros tais como o número de operadores, número de máquinas, dimensão das filas de espera temporárias e sequências de operações.

Kamrani et al. (1995) utilizam a simulação como parte de uma abordagem para o projecto e análise de sistemas celulares. Esta abordagem é implementada em 4 fases. Na última fase utilizam um modelo de simulação para testar diferentes configurações de células obtidas numa fase anterior por modelos matemáticos e comparam as soluções. Através do modelo de simulação avaliam ainda o efeito da introdução de características dos sistemas reais como avarias, manutenção e turnos.

7.1.4. Saídas da selecção dos artigos (A31)

A selecção dos artigos e/ou a formação das famílias de artigos constituem as saídas desta actividade. Alguns dos métodos utilizados nesta actividade além deste resultado, podem ainda seleccionar o equipamento que irá constituir a célula. A selecção dos artigos e a selecção do equipamento são assim duas actividades quase indissociáveis e o

facto desta aparecer como primeira actividade não significa que não se possa obter a selecção do equipamento primeiro.

7.2. SELECÇÃO DE EQUIPAMENTO (A32)

A selecção de equipamento procura identificar e seleccionar equipamento para processar os artigos ou famílias de artigos seleccionados na secção anterior. O equipamento inclui as máquinas, as ferramentas, as paletas, entre outros. Embora a tendência natural seja de querer o melhor e mais recente, esta nem sempre é uma escolha acertada. Isto porque, muitas vezes as máquinas mais simples têm o desempenho necessário e são também mais fáceis de manusear possibilitando com maior rapidez a reconfigurabilidade da célula. O tipo de máquina simples e dedicada é utilizada no sistema L-CMS de Black (1991).

As ferramentas devem ser, o mais possível, normalizadas de forma a minimizar as mudanças de ferramentas, reduzindo assim o tempo de produção e aumentando as taxas de produção. Quando máquinas de controlo numérico são usadas é necessário afectar ferramentas às máquinas adequadamente de forma a reduzir tempos de preparação. Adicionalmente paletas e dispositivos de fixação devem ser seleccionados ou projectados eficientemente para tirar partido de uma preparação rápida (Park, 1995).

7.2.1. Entradas à selecção de equipamento (A32)

Tendo em vista a selecção de equipamento todas as informações sobre o equipamento existente são relevantes pois estas informações possibilitam conhecer as potencialidades do equipamento e ponderar sobre possíveis investimentos. Assim é natural que uma das entradas nesta actividade seja a informação fabril recolhida através da análise da situação actual. Tais informações, já necessárias na actividade anterior, incluem as características dos artigos, os planos de processos e roteiros de cada artigo, as quantidades requeridas, o tamanho do lote, a mistura de artigos.

A classificação e codificação das máquinas como, por exemplo, a classificação das máquinas proposta por Burbidge (1996), é também relevante para ajudar a identificar mais rapidamente as máquinas e a verificar se se podem ou não duplicar.

Os artigos seleccionados ou as famílias de artigos formadas resultantes da actividade anterior (A31) são a base para a selecção e agrupamento do equipamento.

Nesta actividade são ainda necessárias informações que resultam da actividade de formação de postos de trabalho (A33), tais como a formação/divisão das famílias de peças, a subcontratação, as máquinas partilhadas, a distribuição de carga e afectação de máquinas. Estas informações podem afectar a selecção ou agrupamento já realizados porque impedem ou favorecem que determinado equipamento seja escolhido ou agrupado.

7.2.2. Restrições à selecção de equipamento (A32)

As principais restrições desta actividade prendem-se com o tamanho da célula que limita o número total de máquinas na célula e com a complexidade do agrupamento das máquinas que é, por vezes, elevada principalmente quando implica máquinas que não podem ser incluídas em nenhuma célula.

A separação ou agrupamento das máquinas pode dever-se a restrições de segurança, a restrições técnicas, a restrições económicas, a restrições do meio envolvente, entre outras.

As restrições de segurança pode obrigar á separação de duas máquinas, por exemplo, se uma contiver material inflamável e a outra produzir altas temperaturas ou centelhas.

As restrições técnicas são, muitas vezes, motivo para a separação como, por exemplo, a incompatibilidade entre máquinas como máquinas de forjar e rectificadoras ou a necessidade de ficarem isoladas numa área protegida como fornos de altas temperaturas. Por razões económicas tem-se a indisponibilidade de equipamento devido à falta de capital para investimento que impede a sua selecção.

7.2.3. Mecanismos para a selecção de equipamento (A32)

Alguns das técnicas e métodos descritos na secção 7.1.3 baseiam-se nas características das máquinas para dar início à formação das células, nomeadamente, o conceito de Máquina Chave.

Outros métodos não se baseando exclusivamente nas características das máquinas podem também utilizar estas características e a relação entre as máquinas recolhidas nos planos de processo ou roteiros dos artigos para a selecção e agrupamento de equipamento como os modelos matemáticos, a simulação, o agrupamento baseado em coeficientes de similaridade e a manipulação de matrizes, as redes neuronais, a teoria dos grafos, os algoritmos genéticos e o *simulated annealing*.

A título exemplificativo tem-se os trabalhos de Rajagopalan e Batra (1975), de Song e Hitomi (1992) e de Co e Araar (1988) que empregam a teoria dos grafos e os modelos de programação matemática para encontrar os agrupamentos das máquinas.

Rajagopalan e Batra (1975) utilizam a teoria dos grafos representando as máquinas por vértices (nós) e o relacionamento entre as máquinas (se existir) por arcos. Este relacionamento é representado por um coeficiente de similaridade que é função do número de artigos movimentado entre cada par de máquinas. Os arcos só são introduzidos depois de, se calculados os coeficientes de similaridade entre cada par de máquinas, estes verifiquem a condição de serem maiores que um valor prédefinido (Rajagopalan, 1975). Os coeficientes de similaridade vão indicar quão forte é a relação entre as máquinas.

A partição sucessiva dos grafos baseia-se nos pares de máquinas que estabelecem entre si relações mais fortes. Obtidos os grupos de máquinas são afectados os componentes de forma a formar as células, são ainda calculados os movimentos intercelulares e a carga (horas-máquina) em cada máquina da célula para encontrar o número de máquinas de cada tipo necessário na célula. Outros dados necessários são, assim: a procura, a sequência das operações e os tempos de preparação e processamento de cada operação.

Song e Hitomi (1992) utilizam a teoria dos grafos para agrupar máquinas e determinar o número e dimensão das células. Os nós representam as máquinas e a existência de arcos entre duas máquinas significa que há peças a fluir de uma máquina para outra. O valor associado ao arco indica o número total de peças que fluem entre essas duas máquinas. O método assume que os tipos de peças e as quantidades produzidas em cada máquina são conhecidas e constantes, os planos de processo são conhecidos e o movimento das peças entre células é unitário.

De forma a obterem uma solução ótima para o agrupamento de máquinas, atendendo ao objectivo de maximizar o número total de peças produzidas dentro de cada grupo e à minimização do fluxo intercelular, os autores utilizam ainda a programação linear (depois de linearizar o problema) e a técnica *branch & bound* como possíveis métodos de resolução.

Co e Araar (1988) utilizam um modelo de programação inteira para afectar as operações às máquinas com o objectivo de maximizar a utilização das máquinas, aplicando uma

extensão do algoritmo de King para o agrupamento das máquinas de acordo com as similaridades das operações e procurando depois a dimensão e composição das células.

7.2.4. Saídas da selecção de equipamento (A32)

Como resultado desta actividade obtém-se a selecção de equipamento necessário para processar os artigos seleccionados. É possível também obter o número de células, o número de operações excepcionais e o tipo de máquinas partilhadas através da informação fornecida pelas actividades posteriores ou através dos resultados da aplicação dos métodos referidos na secção anterior.

O número de células obtido nesta actividade e o número de células estimado são provavelmente diferentes porque nesta fase há informação mais detalhada como, por exemplo, a possibilidade de partilha ou de incompatibilidade entre máquinas, que são equacionados na actividade seguinte da formação de postos de trabalho e que permite um ajuste desse número.

As operações excepcionais de artigos são aquelas operações que requerem máquinas que pertencem a diferentes grupos, sendo estas máquinas designadas de máquinas estrangulamento. Na impossibilidade de replicação destas máquinas irá existir um fluxo intercelular entre os grupos de máquinas formados para permitir a partilha de tais máquinas. Existem, no entanto, formas de eliminar ou minimizar estas operações que são apresentadas na actividade seguinte.

Conhecer o tipo de máquinas que se pretende partilhar é importante para verificar a possibilidade ou não de replicação destas máquinas, evitando que na formação dos postos e nas implantações se tomem decisões inadequadas. Por exemplo, as máquinas especiais da categoria S da classificação de Burbidge não se podem duplicar assim como alguns tipos de equipamentos que não podem ser incluídos em nenhuma célula e devem ser considerados centros de serviço (Burbidge, 1996).

7.3. FORMAÇÃO DE POSTOS DE TRABALHO (A33)

Feita a selecção de artigos e de equipamento torna-se necessário nesta actividade formar os postos de trabalho, que irão fundamentar as células/linhas, através da afectação adequada de recursos, equipamento e pessoas, no sentido de obter as quantidades requeridas dos artigos seleccionados. Esta formação implica a procura da replicação

óptima de recursos e o balanceamento ou a equilibragem óptima das células/linhas, isto é, a afectação equilibrada das operações em postos de trabalho que é dependente da taxa de produção desejada, de forma a minimizar os tempos de inactividade ou o número de postos de trabalho ou ainda distribuir a perda de balanceamento pelos postos.

A atribuição de máquinas que não podem ser replicadas a células que as requerem deve favorecer a minimização de movimentos intercelulares. Isto significa que máquinas que constituem um estrangulamento e que não são duplicadas têm de ser colocadas apenas numa célula e partilhada por outras. A tomada de decisão sobre em que célula colocar esta máquina é baseada na sequência das operações das peças e deve afectar-se a uma célula e num posicionamento que favoreça a simplificação da programação dos fluxos intercelulares.

Supondo, por exemplo, que há uma máquina que é requerida no fim ou no início de uma sequência de uma família A e é requerida no meio de uma sequência de uma família B. Tal máquina deve atribuir-se à célula que processa a família B porque se isto não acontecer, os artigos da família B que estão a meio do seu processamento devem sair para ir à outra célula implicando, isto, mais perturbações no fluxo e mais movimento.

Uma vez tomadas as decisões sobre a replicação das máquinas deve-se voltar à actividade da selecção de artigos (A31) e, eventualmente, modificar as composições das famílias e dos grupos de máquinas correspondentes, porque algumas peças poderão agora ter mais operações possíveis numa célula quando antes não era possível.

Como as operações nas máquinas replicadas podem ser processadas em células alternativas, a afectação destas operações deve ser realizada atendendo ao objectivo de minimizar o fluxo intercelular e satisfazendo as restrições de disponibilidade das máquinas. As famílias de artigos formadas inicialmente poderão, assim, alterar-se.

Embora, na maioria das vezes, as células/linhas se baseiem, depois de seleccionados os artigos, nos agrupamentos das máquinas existem, por vezes, situações em que o agrupamento de pessoal é mais relevante na formação das células do que o agrupamento das máquinas. Slomp et al. (1993) refere experiências industriais em que células foram formadas com base na distribuição de pessoal sob responsabilidade de chefes de secção.

Particularmente importantes são também os agrupamentos de operadores nas células JIT cuja flexibilização e reconfigurabilidade advém da alteração do número de operadores

nas células para responder a diferentes taxas de produção que variam de acordo com a procura.

7.3.1. Entradas à formação de postos de trabalho (A33)

Os dados de produção como os planos de processo e as sequências das operações das peças e as quantidades requeridas são essenciais para fazer o balanceamento ou equilibragem das células/linhas. O estabelecimento ou estimativa de alguns parâmetros operatórios tais como o número de células, a mistura de artigos e o tamanho do lote também entram pois nesta actividade existe informação mais detalhada que permite um refinamento daquelas estimativas.

A utilização, a disponibilidade e o custo de duplicação das máquinas são informações necessárias para decidir sobre a possibilidade de replicação ou não de algumas máquinas.

Entradas nesta actividade são, também, o número de células baseado na selecção de equipamento, número de operações excepcionais e o tipo de máquinas partilhadas que são os resultados da actividade anterior de selecção de equipamento (A32) e que ajudam na obtenção das saídas desta actividade.

Alguns resultados da actividade de implantação intercelular (A35) tais como o tipo de implantação, os custos de manuseamento de materiais, localização das máquinas partilhadas e localização das máquinas incompatíveis, fluxos e caminhos, centros de maquinagem multifuncionais e máquinas convencionais, realimentam esta actividade para que ajustes sejam feitos, se necessário.

Estes ajustes relacionam-se principalmente com a tomada de decisões face à possibilidade de diferentes investimentos, isto é, se se verificar, por exemplo, que os custos com a replicação de algumas máquinas ou a subcontratação são traduzidas por situações mais económicas que os custos de manuseamento então é preferível optar pela replicação ou pela subcontratação.

7.3.2. Restrições à formação de postos de trabalho (A33)

A precedência das operações colocam, muitas vezes, restrições de vizinhança à formação dos postos de trabalho. Estas restrições podem ser negativas, se as operações não podem ficar no mesmo posto ou positivas, se as operações devem ficar no mesmo posto. É exemplo de restrição negativa a execução de operações, por um mesmo

operador, de dois lados distintos de um transportador. É exemplo de restrição positiva o agrupamento de duas operações que utilizam as mesmas ferramentas.

As restrições tecnológicas prendem-se, muitas vezes, com a impossibilidade de colocar determinado equipamento, por exemplo, estação de tratamento a quente, numa única célula quer devido às suas dimensões quer devido à sua requisição por muitas famílias.

Outro tipo de restrições que condiciona esta actividade são as restrições de recursos que impossibilitam a replicação, e por vezes, a formação das células. A replicação de algumas máquinas, por vezes, é economicamente inviável quer devido às restrições financeiras impostas pela empresa quer ao facto do investimento não se justificar.

A falta de operadores com qualificação apropriada pode levar a empresa a formar menos células que o desejável. A falta de formação dos operadores e o pouco ou nenhum investimento nessa formação pode conduzir ao mau desempenho das células.

O tamanho da célula é também restritivo nesta actividade, pelas mesmas razões que nas secções anteriores, isto é, podendo impedir que uma máquina seja afectada a uma célula devido à imposição do número total de máquinas.

7.3.3. Mecanismos para a formação de postos de trabalho (A33)

Na formação dos postos de trabalho é necessário fazer a replicação dos recursos e o balanceamento das células/linhas.

Alguns autores ao abordarem o problema de selecção/formação de famílias de peças e grupos de máquinas procuram incluir nos algoritmos alguma forma de avaliar também o problema da replicação das máquinas, nomeadamente, Choobineh (1988) e Heragu e Gupta (1994).

Estes últimos desenvolveram uma heurística para identificação de famílias de peças e máquinas a agrupar para formar células, atendendo a quatro restrições: a capacidade disponível das máquinas, aos requisitos tecnológicos e de segurança, o tamanho da célula e o número de células. Além destas quatro restrições consideram ainda o fluxo de material entre as máquinas e a replicação destas para minimizar o movimento intercelular das peças.

Por detrás da necessidade de replicação das máquinas estão, muitas vezes, as operações excepcionais que obrigam á partilha das máquinas e consequentemente ao movimento

intercelular. Mas as operações excepcionais podem ser eliminadas ou minimizadas sem recorrer à replicação das máquinas.

Segundo Arvindh e Irani (1994) o problema da partilha das máquinas pode ser resolvido através do Planeamento de Processo Assistido por Computador (CAPP)²⁹ e da Análise de Ferramentas (TA)³⁰(Burbidge, 1996). Os autores apresentam o seguinte procedimento para eliminar o problema da partilha das máquinas:

1. Eliminar operações excepcionais que obrigam as peças a visitar máquinas externas á célula
 - reprojectando peças de forma a eliminar as características que requerem essas máquinas externas
 - modificando os planos de processo existentes de forma a reencaminhar as operações a uma ou mais máquinas alternativas disponíveis dentro da célula
2. Libertar capacidade nos tipos de máquinas partilhadas
 - reencaminhando algumas operações a máquinas alternativas dentro das células
 - comprando máquinas adicionais daquele tipo
 - comprando um centro CNC mais eficiente e dedicando as máquinas existentes apenas a peças chave (isto irá reduzir o tempo gasto nas mudanças de preparação)
 - reprojectando peças de forma a eliminar características que exijam estas máquinas
 - reduzindo tempos de mudança de ferramentas com transferidores automáticos de ferramentas, ferramentas com vida mais longa, etc.
 - reduzindo o número de ferramentas através da aplicação de técnicas de redução da variedade de peças normalizando as dimensões das peças, a tolerância, etc.
 - otimizando parâmetros do processo para reduzir tempos de operação
 - desempenhando medições dimensionais em processo em vez de parar as máquinas ou repetidamente descarregar a peça para a inspeccionar
 - desenvolvendo dispositivos e mecanismos flexíveis de mudança rápida para manusear uma família de peças sem perder capacidade disponível devido às mudanças
 - afectando um único operador para operar duas ou mais máquinas adjacentes

²⁹ Computer Aided Process Planning

³⁰ Tooling Analysis

3. Subcontratar peças pouco encomendadas para libertar capacidade nos tipos de máquina estrangulamento
4. Pôr as máquinas que constituem estrangulamentos a funcionar fora de horas normais de trabalho
5. Operar automaticamente, se possível, máquinas, em terceiro turno
6. Reduzir ou eliminar o manuseamento de material que causa tempo inactivo entre operações
 - adoptando uma implantação para as células que permita a um operador operar várias máquinas
 - usando um sistema automático de manuseamento de material
 - comprando um centro de torneamento ou de maquinagem de multi - função para substituir máquinas convencionais com funções dissimilares
7. Comprar centros CNC para reduzir tempos de operação em máquinas convencionais existentes
8. Reduzir exigências de capacidade planeando baixos níveis de rejeitados
 - inspeccionando a matéria-prima, em curso e produto acabado dentro da célula
 - implementando gráficos de controle de processo estatísticos em cada máquina
 - treinando trabalhadores para serem multifuncionais no sentido de inspeccionarem (ou monitorizarem) cada produto
 - eliminando a fadiga dos operadores mecanizando ou mesmo automatizando as operações de carga (ou descarga), embalagem e manuseamento
9. Reduzir requisitos de capacidade usados no cálculo do número de máquinas pela redução dos tamanhos de lote e efectuando mais ciclos de produção
10. Reduzir tempo de manutenção em tipos de máquinas partilhadas pela manutenção preventiva realizada pelos operadores na célula (lubrificação, limpeza, testes de diagnóstico para evitar falhas de máquina, fornecimento de energia/ar/refrigeração para evitar interrupções nas máquinas, etc.)
11. Minimizar tempos de espera e preparação nas máquinas por uma programação baseada nas dependências das sequências e similaridade dos planos de processo
12. Reduzir absentismo nas células

Na afectação dos operadores às células deve-se ter em conta a sua influência no funcionamento e nos custos da célula. Em particular é importante avaliar o impacto dos

custos que resultam da inactividade. Portanto conseguir o número certo de operadores associado a um balanceamento adequado da célula é um dos objectivos pretendidos.

O número certo de operadores pode ser conseguido através da simulação por computador. Em Nunes (1997) este assunto é estudado na montagem de contadores eléctricos, sendo definido para diferentes taxas de produção de uma linha de montagem o número de operadores a afectar assim como capacidade dos *buffers* entre postos de trabalho de forma a proporcionar uma eficiente gestão dos recursos. O estudo baseia-se num modelo de simulação do processo de fabrico. Também Black e Schroer (1988 e 1994) desenvolveram um modelo de simulação para tentar encontrar o número mais adequado de operadores dentro de uma célula na indústria do vestuário.

O balanceamento ou a equilibragem das células/linhas, podendo também ser realizado através da simulação, podem-se também utilizar métodos de balanceamento que se podem classificar em métodos de balanceamento de artigos único e vários artigos. Nas linhas para vários artigos ainda se pode classificar em linhas de multi-artigo ou artigos misturados, se só um tipo de artigo ou vários tipos de artigos vão ser produzidos na linha, respectivamente (Silva, 1997a). Estes métodos podem ainda ser classificados em determinísticos, se não entram com a variabilidade das durações das operações ou estocásticos, caso contrário. São bastantes os métodos desenvolvidos para o balanceamento apresentando-se em Ghosh e Gagnon (1989) uma revisão abrangente destes.

A organização e distribuição do trabalho pelos operadores dentro das células pode fazer-se por vários métodos, nomeadamente, o método *rabbit chase*, o método *Toyota Sewing System* (TSS) e o método *working balance* descritos em Black e Chen (1995). Os autores utilizaram a simulação para comparar o desempenho destes três métodos concluindo que o TSS é mais flexível que o *rabbit chase* nos casos de bloqueio porque os operadores podem ajudar-se em vez de ficarem parados. O método do *working balance* tem um comportamento semelhante aos outros.

7.3.4. Saídas da formação de postos de trabalho (A33)

As saídas desta actividade são a formação/divisão das famílias de peças, a subcontratação, as máquinas partilhadas, a distribuição de carga e a afectação de máquinas com sobrecargas que influenciam quer a selecção de artigos quer a selecção de equipamento. Estas informações possibilitam a reanálise das selecções anteriormente

realizadas de forma a eliminar as situações de sobrecarga que aqui se verificam. Na primeira selecção de artigos e equipamento, estas situações ainda não eram visíveis.

A decisão de replicação das máquinas determina que famílias de peças devem ser formadas e que famílias devem ser separadas. Se uma máquina que provoca estrangulamento é duplicada pode ser mais económico dividir as famílias que necessitam dessa máquina. Se não é replicada pode-se tentar reduzir os fluxos intercelulares juntando estas famílias.

As máquinas cujos custos são muito elevados e que economicamente não vale a pena a sua replicação devem ser partilhadas. A subcontratação da produção de peças pouco críticas pode ser uma alternativa economicamente viável que deve também ser considerada como meio de reduzir a carga afecta às máquinas sobrecarregadas.

Não se deve esquecer que a subcontratação tem vantagens e desvantagens. Entre as vantagens pode-se dizer que a subcontratação é uma forma de flexibilização da capacidade produtiva, podendo ser útil em períodos de elevada procura, permitindo que tecnologias que a empresa não possui sejam utilizadas no produto, reduzindo o espaço necessário para existências, entre outras. As desvantagens incluem alguma falta de controlo quer sobre a qualidade do produto quer sobre os prazos de entrega, os custos podem ser mais elevados, a localização geográfica pode ser um problema, a necessidade de stocks de segurança, entre outras (Wu, 1994).

As novas ou alteradas sequências das operações e os fluxos, a composição da célula com os postos de trabalho formados e uma primeira impressão sobre o sistema de manuseamento de material intracelular adequado podem no final desta actividade ficar definidos para entrarem na actividade seguinte.

A localização óptima das máquinas partilhadas, a identificação das máquinas ou processos incompatíveis, os artigos ou mistura de artigos a produzir e o tamanho da célula determinados agora com informação mais detalhada são saídas desta actividade importantes para desenvolver a actividade seguinte da implantação intercelular (A35).

7.4. IMPLANTAÇÃO INTRACELULAR (A34)

O número total de movimentos intracelulares e intercelulares têm de ser minimizados pois eles contribuem para a redução da produtividade e aumento dos custos. Assim

nesta actividade e na seguinte procuram-se encontrar implantações dentro e fora da célula que minimizem os movimentos e encontrar sistemas de manuseamento de materiais adequados.

O desenvolvimento de uma implantação deve ser organizado e sistemático. Muther (1973) propõe uma abordagem que se estende a todas as fases de projecto de uma empresa desde a sua localização passando pelas fases do arranjo físico geral e detalhado até à fase da instalação. Destas fases, o arranjo físico detalhado é particularmente importante para esta e para a seguinte actividade.

O modelo de procedimentos dessa abordagem está representado na Figura 40 e é chamado de Planeamento Sistemático de Implantações (SLP)³¹. O conjunto das nove tarefas da figura devem ser executadas tendo como dados para iniciar o processo os seguintes elementos:

- (P) Produto** - família, submontagens e componentes – o que é que vai ser produzido?
- (Q) Quantidade** - volumes planeados para cada produto – quanto deve ser produzido?
- (R) Roteiro** - operações, centros de trabalho, sequências e durações – como vai ser produzido?
- (S) Serviços de suporte** - identificação de todos os serviços e áreas de suporte – com que suporte vai ser produzido?
- (T) Tempo** – quando, por quanto tempo, com que frequência e com que prazo?

Nesta altura estes elementos já estão identificados através das fases e actividades anteriores. O procedimento baseia-se principalmente no relacionamento entre as actividades, no espaço e no ajustamento.

No caso particular de implantação da célula/linha o procedimento de Muther pode também ser apropriado facilitando a obtenção de uma implantação adequada.

O fluxo de materiais dentro da célula pode ser obtido através do diagrama de fluxo de processo, diagrama do fluxo de operações, quadros de relacionamento e fluxo que fornecem dados sobre a frequência e quantidade de movimentos entre as actividades (operações, máquinas, postos de trabalho).

³¹ Systematic Layout Planning

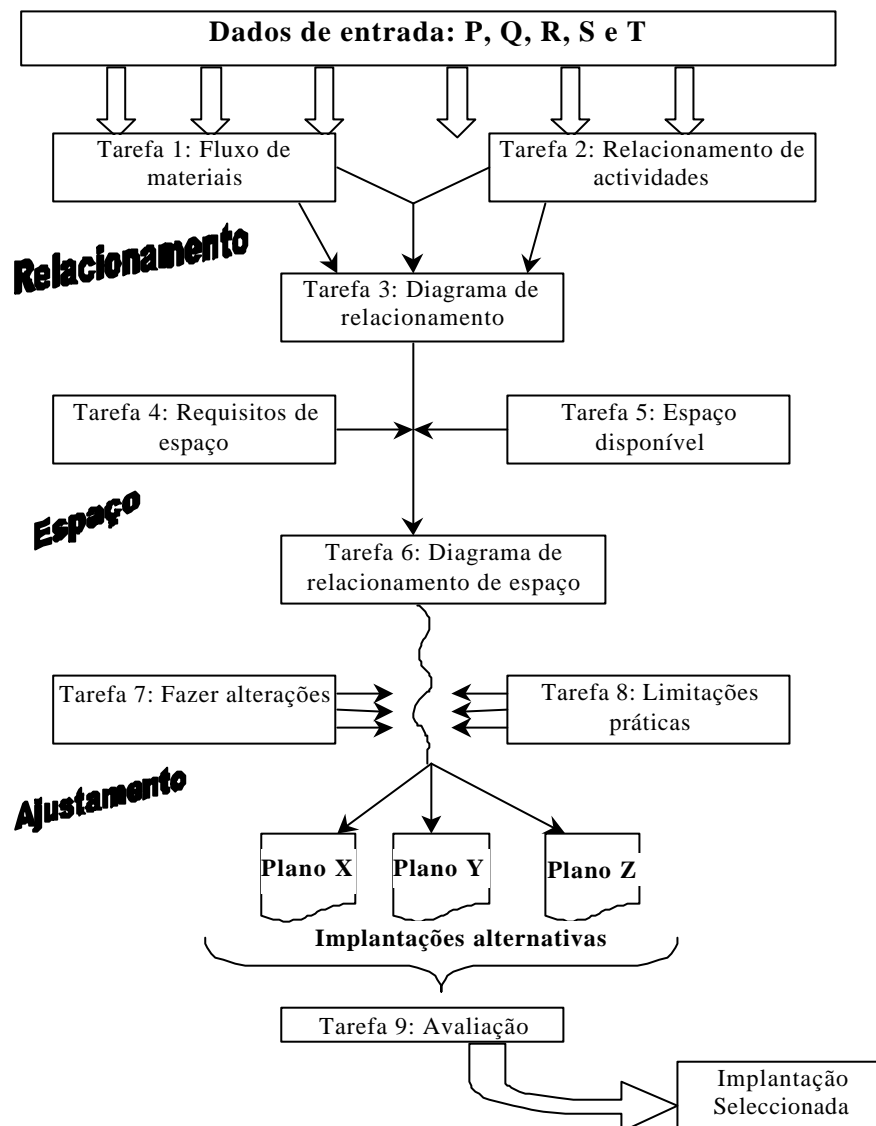


Figura 40. Planeamento Sistemático de Implantações (adaptado de Muther, 1973)

Conhecer este fluxo não chega pois, por vezes, o relacionamento entre as actividades não é desejável devido a factores como perigosidade, barulho, entre outros, da actividade em causa que provocam o afastamento obrigatório de duas actividades cujo fluxo entre elas é elevado. Assim torna-se necessário identificar as relações entre as actividades, combiná-las com o fluxo de materiais e transpô-las para uma forma de diagrama (diagrama de relacionamento).

A tarefa seguinte é de determinação de espaços. Por cada unidade a implantar na célula é necessário determinar a área que ocupa e multiplicar essa pelo número de unidades iguais (duplicação de máquinas) incluindo espaços adicionais para movimento, acessórios de apoio (mesas, cadeiras). O número de unidades requeridas são calculadas

dividindo a taxa de produção total para satisfazer os requisitos de produção pela taxa de produção por unidade.

O espaço determinado deve ser confrontado com o espaço disponível e colocado num diagrama de relacionamento de espaço. A área necessária para cada actividade pode ser colocada no diagrama de relacionamento e com as informações das tarefas anteriores pode construir-se um diagrama de relacionamento de espaço que é ainda um plano grosseiro da implantação.

O plano grosseiro irá ainda sofrer muitos ajustamentos e refinamentos por forma a incluir os sistemas de transporte e de manuseamento de materiais, locais de armazenagem temporária, requisitos para os operários, dispositivos auxiliares entre outros e devido ainda às limitações práticas de construção do edifício, dos equipamentos fixos, do custo, de segurança e preferências dos operários.

Uma classificação de tipos de implantações intracelulares apontadas por Arvindeh e Irani (1994) incluem (Figura 41):

- A – Implantação em linha
- B – Implantação em W
- C - Implantação em U
- D – Implantação em S
- E – Implantação em L
- F – Implantação em O
- G – Implantação em D (servido por robot)

Nessa figura também se podem ver vários tipos de sistemas de manuseamento intracelulares. A selecção do sistema de manuseamento de material é dependente dos artigos seleccionados pois as suas características como o tamanho e a forma determinam o tipo de sistema de manuseamento. Também a alimentação de materiais deve ser cuidadosamente definida e projectada de maneira a ser flexível para acomodar futuras alterações no projecto do produto, materiais e componentes.

Devido à existência de várias implantações pode ser necessário proceder a uma avaliação dessas alternativas, utilizando um método de selecção de alternativas como o já apresentado na actividade de selecção da configuração conceptual (A21) e escolher a melhor.

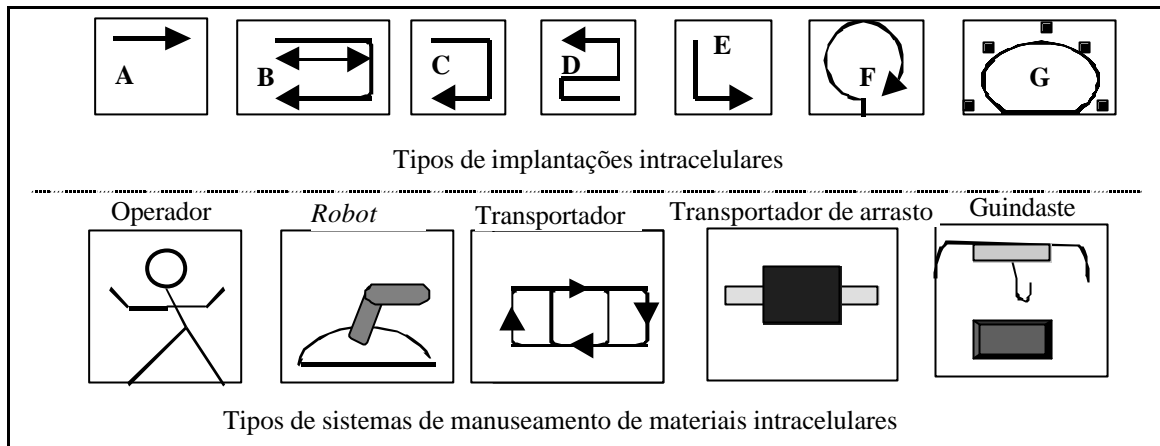


Figura 41. Tipos de implantações e sistemas de manuseamento materiais intracelulares (adaptada de Arvindeh e Irani, 1994)

O leque destas alternativas pode ser mais apertado se se tiver em conta que as diferentes implantações possuem características próprias e uma aplicabilidade específica. Por exemplo, as implantações em U ou W podem ajudar a encontrar flexibilidade e reduzir distâncias entre as máquinas. Além destas vantagens, a implantação em U apresenta outras vantagens como o fomento do trabalho em equipa, a reparação imediata das peças defeituosas, facilita a comunicação e o manuseamento de material e ferramentas (Schonberger, 1983).

No entanto, há situações em que a configuração em U não traz vantagens nem é favorável, tais como situações de elevado grau de automatização com poucas peças e ferramentas a manusear onde o trabalho em equipa e o manuseamento dos materiais não existem, pelo menos na forma descrita no parágrafo anterior, ou situações de processamento de chapas de aço ou de alumínio ou vidro de grandes dimensões onde não é conveniente a mudança de direcção (Schonberger, 1983).

A disposição dos equipamentos dentro de uma célula deve ser tal que o fluxo sequencial procedente seja conseguido. Na impossibilidade de o conseguir os fluxos retrocedentes de materiais deverão ser minimizados pois perturbam o fluxo. A obtenção de fluxos procedentes têm vantagens sobre os fluxos retrocedentes pois implicam menores distâncias, melhor manuseamento dos materiais, melhor controlo do processo de produção.

7.4.1. Entradas à implantação intracelular (A34)

O número total de máquinas atribuídas a uma célula afecta a forma da implantação intracelular. Assim a composição exacta e o tamanho das células são um requisito essencial para definir uma implantação intracelular em vários aspectos incluindo a atribuição de espaços, a escolha de uma configuração adequada e de um sistema de manuseamento intracelular.

Assim são importantes os resultados da actividade de selecção de equipamento (A32), isto é, o número de células, o número de operações excepcionais e o tipo de máquinas partilhadas para desenvolver esta actividade e ainda os resultados da actividade anterior (A33) incluindo os postos de trabalho formados, as sequências das operações e fluxos e a primeira impressão sobre o sistema de manuseamento de material intracelular.

A implantação intracelular não pode ser decidida apenas com base nos fluxos intracelulares. Isto porque o congestionamento do fluxo intracelular pode ser largamente reduzido pela localização das máquinas partilhadas junto dos pontos de entrada e de saída da célula. Assim a implantação de uma célula depende das células vizinhas e da rede do fluxo intercelular. Desta forma é necessário atender às interacções dos fluxos com células vizinhas, ao sistema de manuseamento de material intercelular e à localização dos tipos de máquinas partilhadas que resultam da implantação intercelular (A35), isto é, a actividade seguinte do Projecto Detalhado.

7.4.2. Restrições à implantação intracelular (A34)

As restrições a esta actividade prendem-se com as restrições de espaço e de construção do edifício que pode apresentar uma configuração inadequada a determinados tipos de implantações ou sistemas de manuseamento, com restrições tecnológicas, com restrições financeiras e restrições de recursos.

A disposição de equipamentos fixos e as questões relacionadas com segurança do equipamento também podem influenciar o desenvolvimento de uma implantação intracelular e são apenas alguns exemplos de restrições tecnológicas.

A aquisição de sistemas de manuseamento de material mais adequados ou de equipamento necessário para a implantação pode impossibilitar-se se não existir capacidade financeira para a concretizar.

A disponibilidade insuficiente de recursos pode restringir a tomada de decisão de adoptar um tipo de implantação ou tipo de sistema de manuseamento que seriam mais convenientes para a célula/linha.

7.4.3. Mecanismos para implantação intracelular (A34)

Tal como nas actividades anteriores também nesta actividade são apresentados algumas referências de trabalhos, nomeadamente, de Co e Araar (1988), Vakharia e Wemmerlöv (1990), Ho et al. (1993) e Arvindh e Irani (1994) que tendo o objectivo de formação de células, abordam também os aspectos relacionados com esta formação, isto é, as implantações para as células.

Co e Araar (1988) usam um procedimento de três fases para formar células. O objectivo é a utilização equilibrada das máquinas. Primeiro afectam as operações às máquinas, depois agrupam-nas baseando-se nas similaridades das operações e finalmente propõem uma implantação para essas máquinas.

Vakharia e Wemmerlöv (1990) discutem uma abordagem que integra a formação das famílias e dos grupos das máquinas com a implantação intra e intercelular. A abordagem usa o agrupamentos das peças baseado nas sequências das operações para formar as famílias, agrupando depois as máquinas com replicação. A implantação é discutida logo após a composição da célula ficar definida. Esta abordagem não considera a possibilidade de permitir fluxo intercelular entre células adjacentes podendo evitar assim a replicação das máquinas.

Ho et al. (1993) apresentam dois métodos de análise ao fluxo para ajudar a encontrar fluxos procedentes dentro da célula, considerando a disponibilidade das máquinas e a similaridade das sequências.

No trabalho de Arvindh e Irani (1994) é apresentado um modelo em duas fases. Na primeira fase são resolvidos a formação das famílias de peças, dos grupos e replicação de máquinas e na segunda fase são resolvidos a implantação intracelular e intercelular. Estas fases são realizadas iterativamente e à volta de um número possível de células.

Nesta actividade há necessidade de utilizar diagramas para representar o fluxo de materiais e o relacionamento entre as actividades. Exemplos de tais diagramas são: o diagrama de fluxo de processo e de fluxo de operações, os quadros de relacionamento e fluxo e o diagrama de relacionamento e de relacionamento de espaço.

Um método de ajuda à implantação que permite realizar fluxos procedentes é o método das gamas fictícias. Segundo Valle (1975) o método consiste em determinar uma sequência geral fictícia que, sem retornos de fluxo de material, permita a produção de vários artigos. A gama fictícia serve de base à implantação e cálculo do número de máquinas. Este cálculo toma em linha de conta a carga associada aos artigos a produzir na célula.

Burbidge (1996) também aborda o problema da implantação através da subtécnica *Line Analysis* (LA) que procura o fluxo de materiais entre os centros de trabalho, podendo também ser uma ajuda nesta actividade.

A abordagem SLP pode ser combinada com algoritmos de programação matemática porque o problema de implantações tem sido muitas vezes modelado como, por exemplo, um problema de afectação quadrática e programação inteira linear (Singh, 1996).

7.4.4. Saídas da implantação intracelular (A34)

Os resultados desta actividade são o tipo de implantação, a localização das máquinas partilhadas e das máquinas incompatíveis, os custos de manuseamento de materiais, os fluxos e caminhos, centros de maquinagem multifuncionais e as máquinas convencionais.

Estes resultados realimentam a actividade anterior da formação de postos de trabalho (A33). Porque estando a implantação intracelular definida e o sistema de manuseamento escolhido, a decisão de replicar ou não uma máquina dentro da célula é tomada tendo em conta um compromisso entre os custos de fluxo retrocedente e o custo de adquirir máquinas adicionais. Se se decidiu replicar a máquina então esta decisão afecta as decisões de A33 e consequentemente as actividades A31 e A32.

Além destes, outros resultados são obtidos tais como os fluxos entre células, o tamanho da célula e a forma da célula que são importantes para a actividade da implantação intercelular (A35) porque os custos dos movimentos intercelulares dependem da forma e do tamanho da célula e das localizações relativas das células. A disponibilização de informações procedentes do desenvolvimento de actividades anteriores e a consideração de restrições ainda não consideradas como o espaço disponível permitem actualizar alguns dados para as actividades seguintes, é o caso do tamanho da célula.

7.5. IMPLANTAÇÃO INTERCELULAR (A35)

Esta actividade procura encontrar a melhor implantação entre as células e o sistema de manuseamento entre elas. Também aqui seguir o procedimento de Muther pode ser uma forma sistemática de chegar a uma boa solução.

As limitações em quantidade de equipamentos disponíveis por vezes impossibilita a criação de células autónomas, originando movimento intercelular de materiais. Uma preocupação com a formação de células quando tal acontece é encontrar famílias de peças ou arranjos que minimizem tal fluxo. No caso de células não completamente autónomas a disposição das diferentes células numa área fabril é relevante à minimização das distâncias de movimentação intercelular. Células cujo fluxo entre elas se verifique devem, dentro do possível ser adjacentes.

Arvindeh e Irani (1994) apresentam uma classificação de tipos de implantações intercelulares que podem ser consideradas nesta actividade do Projecto Detalhado (Figura 42) e que incluem:

- A – Implantação *Spline* Linear
- B – Implantação *Spline* X
- C – Implantação *Spline* T
- D – Rede de células
- E – Partilha de equipamento
- F – Células em cascata
- G – Linhas paralelas
- H – Células virtuais

Na figura são também apresentados alguns exemplos de tipos de sistemas de manuseamento de material.

Tal como na actividade anterior também aqui é necessário avaliar a alternativa mais adequada. No entanto, existem diferenças entre as implantações que as distingue quanto à sua aplicabilidade em diferentes situações produtivas. Por exemplo, perante a necessidade de produzir elevadas taxas de produção, as linhas paralelas são as mais adequadas. Em contrapartida, as células virtuais podem estar associadas a situações de alteração frequente da composição e quantidades dos artigos a produzir no ambiente produtivo.

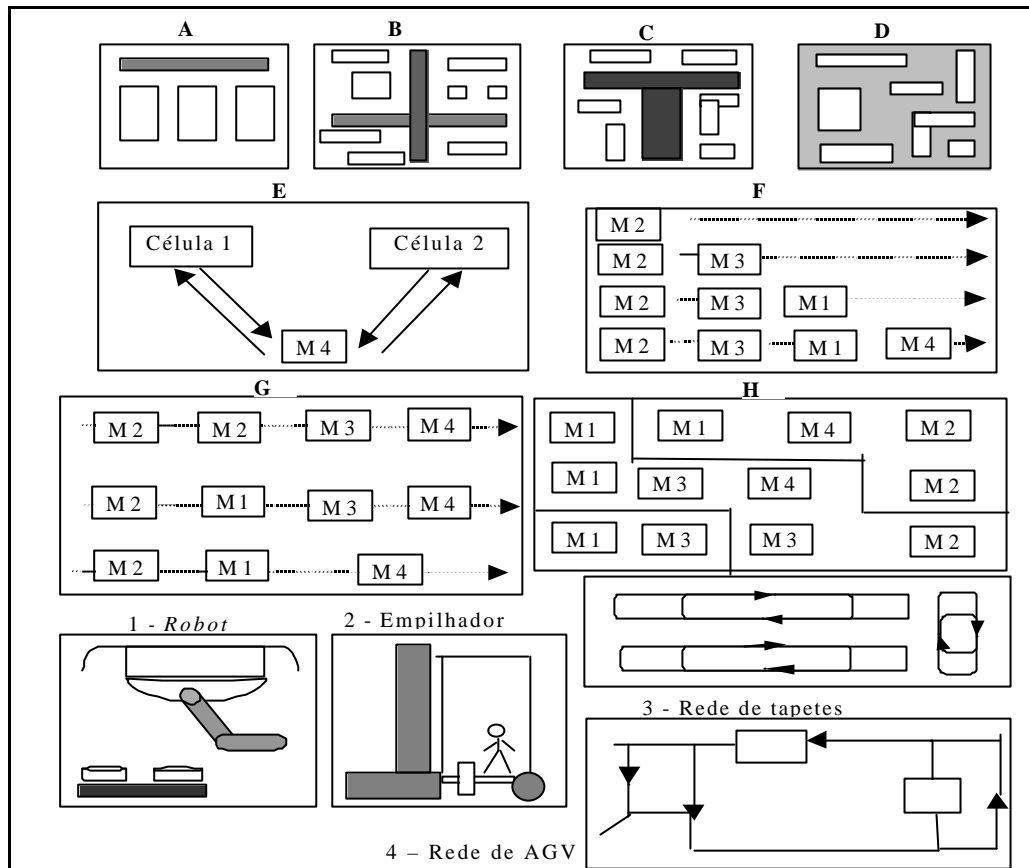


Figura 42. Tipos de implantações e sistemas de manuseamento intercelulares (adaptada de Arvindeh e Irani, 1994)

A partilha de equipamento, representada na figura pela letra E, é um arranjo para resolver a situação de impossibilidade de afectar uma máquina a duas células, podendo esta situação ter sido causada por se tratar de um equipamento fixo e único.

7.5.1. Entradas à implantação intercelular (A35)

Uma entrada importante ao problema da implantação é o tamanho da célula, que está dependente do número total de máquinas atribuídas a cada célula, a forma da célula e os fluxos entre células. Uma vez que a forma da implantação da célula é desenvolvida na actividade anterior da implantação intracelular (A34), é evidente que implantação intercelular não pode ser resolvida sem estar resolvida a actividade A34.

A localização óptima das máquinas partilhadas, as máquinas/processos incompatíveis, a mistura do produto que resultam da actividade de formação de postos de trabalho (A33) devem entrar nesta actividade pois a localização das células e a sua organização na área fabril dependem destas informações.

Por exemplo, máquinas de elevado valor, nomeadamente, centros de torneamento CNC, não podem ficar afectas a uma única célula se várias famílias as requisitam. Normalmente, caem na categoria S da classificação de Burbidge (1996) e não podem ser duplicadas. Assim é necessário projectar a implantação intercelular de modo a que estas fiquem numa localização central às células que dela necessitam tentando minimizar o fluxo intercelular, como no arranjo representado pela letra E na Figura 42.

A incompatibilidade entre máquinas também influenciam o arranjo celular, separando as células que contêm as máquinas incompatíveis.

7.5.2. Restrições à implantação intercelular (A35)

Tal como na actividade anterior as restrições são de várias naturezas, isto é, são restrições de espaço e forma da implantação fabril, restrições tecnológicas, restrições financeiras e restrições de recursos. As restrições de espaço e a forma da implantação fabril podem restringir a escolha de uma alternativa para o arranjo e a escolha de um sistema de manuseamento. A incompatibilidade das máquinas pode ser resultado de restrições tecnológicas.

As restrições de recursos podem condicionar a selecção de um tipo de implantação que implica mais movimentos intercelulares, por exemplo, condicionando a escolha a um arranjo com partilha de equipamento.

As restrições financeiras podem impossibilitar a aquisição de sistemas de manuseamento mais adequados ao movimento dos materiais.

7.5.3. Mecanismos para a implantação intercelular (A35)

Nesta actividade, além dos trabalhos de alguns autores referidos na actividade anterior, nomeadamente, Vakharia e Wemmerlöv (1990) e Arvindeh e Irani (1994) são ainda de referir os trabalhos de Song e Hitomi (1992), Ribeiro e Pradin (1993), Chow e Hawaleshka (1993), Del Valle et al. (1994), Langevin et al. (1994) e Cheng et al. (1998) que tentam resolver o problema da implantação intercelular ou minimizar os movimentos intercelulares.

O método de Song e Hitomi (1992) descrito na secção 7.2.3, procura os grupos de máquinas tentando minimizar os fluxos intercelulares.

Ribeiro e Pradin (1993) apresentam uma abordagem para formação das células endereçando o problema dos movimentos intercelulares. A abordagem tem duas fases: na primeira (fase de selecção/afecção) selecciona as máquinas e afecta as peças a essas máquinas. A segunda fase (fase da partição/reafeção) estabelece uma partição das peças e correspondentes máquinas e afecta-as novamente com o objectivo de eliminar algum movimento intercelular.

Chow e Hawaleshka (1993) consideram que os algoritmos para agrupamento das máquinas descurem o problema dos movimentos intercelulares e que por isso a afectação imprópria das máquinas conduz à geração de um elevado número destes movimentos. Assim propõem uma abordagem que leva ao agrupamento das máquinas e à minimização dos movimentos intercelulares.

Del Valle et al. (1994) tentam minimizar os movimentos intercelulares através de um algoritmo constituído por quatro fases onde a formação das células tomam em linha de conta a influência dos movimentos intercelulares, a carga das máquinas e um processo de formação dos grupos de máquinas à volta de uma máquina chave.

Langevin et al. (1994) propõe um método para implantações intercelulares com o objectivo de minimizar os custos de manuseamento e os custos de investimento, dirigido principalmente a implantações dos Sistemas de Produção Flexível e grandes áreas fabris.

Cheng et al. (1998) aplicam um algoritmo genético que equaciona os movimentos intercelulares incluindo no algoritmo a sequência das operações, os movimentos intracelulares, a carga das máquinas e a implantação.

Nesta actividade podem também ser usados os diagramas referidos no procedimento de Muther (1973).

Os programas computadorizados tais como CORELAP, CRAFT, ALDEP, COFAD e PLANET (Tompkins, 1978) também podem ser usados em que as secções a implantar são as células.

7.5.4. Saídas da implantação intercelular (A35)

As saídas desta actividade são o tipo de implantação, a localização das máquinas partilhadas e incompatíveis, os custos de manuseamento de materiais, os fluxos e

caminhos dos materiais, os centros de maquinagem multifuncionais e as máquinas convencionais.

Tal como a actividade de implantação intracelular, influenciam a actividade de formação de postos de trabalho, uma vez que pretende a replicação e afectação adequada dos recursos. Isto exige compromissos entre o custo de aquisição de máquinas, o custo de tempo morto da máquina e o custo de fluxos intercelulares associados com os custos de trabalho em curso de fabrico.

A implantação intercelular influencia a replicação e distribuição das máquinas por os custos de movimentos intercelulares dependerem da forma, do tamanho e da localização relativa das células.

Assim a implantação intercelular não pode ser realizada sem primeiro se conhecer a replicação de recursos. O processo global envolve mútua retroacção, uma vez que a replicação de recursos é também influenciada pela implantação intercelular.

Outras saídas desta actividade são as interacções dos fluxos com células vizinhas, o sistema de manuseamento de material intercelular e a localização do tipo de máquinas partilhadas que entram na actividade da implantação intracelular. Ao desenvolver a actividade de implantação intercelular pode-se ter chegado a conclusões da inviabilidade, devido, por exemplo, a restrições de espaço e forma da área fabril, dos resultados da actividade anterior. Portanto há necessidade de existir também realimentação de informações entre estas duas actividades que estão muito relacionadas.

Pode concluir-se que as actividades do Projecto Detalhado estão muito relacionadas e que o desenvolvimento de cada uma delas não é independente das outras, havendo lugar a uma forte dependência e iterações neste processo. Devido à complexidade deste processo só moderadamente se encontram algoritmos ou métodos que apresentam o envolvimento de todas as actividades referidas nesta fase.

Um método é apresentado por Arvindeh e Irani (1994) para tratar o problema do Projecto Detalhado de uma forma integrada e iterativa que se baseiam num modelo integrando heurísticas, programação inteira e algoritmos desenvolvidos por outros autores.

8. APLICAÇÃO A UM CASO INDUSTRIAL

Os dados para aplicação desta metodologia foram recolhidos num relatório de estágio realizado numa empresa têxtil cujo produto é o vestuário para bebé (Reis, 94). Estes dados referem-se a 1993 mas a metodologia é aplicada tendo em conta os dados e a situação existente nessa altura. Esta opção tem a vantagem de, estando já os dados recolhidos, diminuir o tempo necessário para a aplicação da metodologia embora alguns detalhes relevantes possam ser comprometidos.

8.1. A EMPRESA

As empresas têxteis e particularmente de vestuário, inserem-se num mercado altamente competitivo, obrigando-as a repensarem a sua organização de forma a atingirem maior flexibilidade, maior produtividade e melhor serviço. A empresa aqui representada desenvolve a sua actividade no sector de fabricação de vestuário de bebé, aguentando também este tipo de pressões.

Esta empresa, fundada em 1979 com um capital social de 800 contos, numa fase inicial começou a trabalhar sobretudo para satisfazer encomendas dos clientes cujos modelos eram definidos por eles. Em 1985 deu-se início à criação de estilo e modelos próprios, admitindo-se um estilista. Nesse mesmo ano ampliou-se e modernizou-se o parque industrial, nomeadamente da estamparia e dos bordados, acentuando-se cada vez mais a preocupação com a qualidade e o estilo.

Em 1988 foi lançada a fase de ampliação e aquisição do parque das máquinas com uma tecnologia mais avançada onde foi investido um total de 200000 contos. Os sectores de modelagem e estilismo foram dotados de meios informáticos CAD – Lectra system, para ajudar no estudo e planificação do corte.

Em 1989 foi decidido criar uma empresa, a Bordest, que passou a ter a seu cargo a produção de bordados, estampados e fabricação de malha. A tinturaria e acabamento de malha é feito em empresas exteriores.

Em 1990 foi adquirido um sistema de corte automático, ligado ao sistema CAD. Nesse ano o capital social da empresa foi elevado aos 100000 contos.

As famílias de produtos comercializadas pela empresa são fatos, macacões, jardineiras, fatos de treino, conjunto de três peças, camisolas, calções, casacos, pijamas e *T-shirts*.

Para cada artigo existe uma grande variedade de medidas desde 1 mês até 2 anos, tendo alguns artigos medidas até 5 anos.

Os principais clientes da empresa são clientes dos países da Comunidade Europeia, salientando-se a Espanha, a Alemanha, a França, a Grécia, a Bélgica, a Holanda, a Suécia. O volume de facturação da empresa ronda os 800 mil contos, dos quais aproximadamente 90% corresponde à exportação. A empresa participa regularmente em feiras internacionais.

A empresa tem instalações próprias, dispondo de uma área coberta de 4000 m², 230 m² de logradouros e 2400 m² de terreno anexo ao edifício, para expansão. Do total de área coberta, cerca de 66% estão afectos à produção e armazéns. Tem um total de 141 efectivos.

8.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A aplicação da metodologia dentro do ambiente da empresa, com todo o trabalho de recolha de dados e aplicando alguns dos mecanismos descritos nas fases, seria mais exaustivo mas também mais motivante do que fazê-lo sobre dados já recolhidos. Estes dados não fornecem todas as informações necessárias, encontrando-se de certa forma, filtrados. Mas, de uma maneira geral, servem para mostrar como aplicar a metodologia apesar de não evidenciar alguns aspectos do seu funcionamento, nomeadamente dos restrições e dos mecanismos.

8.2.1. Projecto Genérico

No Projecto Genérico procura-se conhecer ou ajudar a definir a estratégia de produção, conhecer a situação actual da empresa e identificar e seleccionar o tipo de sistema de produção capaz de suportar aquela estratégia. Para isso as actividades do planeamento estratégico, da análise da situação actual e da identificação do tipo de sistema são realizadas.

8.2.1.1. Planeamento estratégico da produção

Resultados importantes deste planeamento são obtenção os planos de produção agregada e a definição da estratégia de produção. Para concretizar esta acção de planeamento são necessárias as informações sobre os objectivos empresariais, as necessidades dos clientes, as informações do mercado e tecnológicas e o nível operacional fornecido pelo sistema de produção actual.

Entradas ao planeamento estratégico da produção

A empresa tem identificados como objectivos a flexibilidade na produção de pequenas séries de produtos variados, a diminuição dos ciclos de produção, de modo a dar resposta rápida às necessidades dos clientes, a melhoria do fluxo produtivo, o aumento da produtividade da confecção e da eficiência da mão de obra, a eliminação dos problemas existentes (sobretudo de qualidade), a melhoria do nível de serviço prestado ao cliente no que respeita aos prazos de entrega e variedade de artigos e a melhoria do planeamento e controlo da produção na confecção.

As necessidades dos clientes traduzidas nas encomendas (anexo II, página A-5) evidenciam uma grande diversidade de artigos definidos pelo cliente. Além de

responder a estas necessidades a empresa aposta também no mercado nacional, produzindo uma larga gama de artigos de criação e estilo próprios que vende directamente em lojas e dando a conhecer ainda os seus artigos através de um catálogo, comercializando duas marcas.

A informação do mercado dá conta de um mercado sazonal e altamente competitivo com fortes pressões no sentido de que só as empresas produtoras de artigos com muito boa qualidade a baixo custo e com um estilo atraente é que sobrevivem e esta empresa tem registado um significativo desenvolvimento, quer ao nível técnico/produtivo quer ao nível comercial mostrando que é capaz de se aguentar e crescer.

A informação tecnológica da existência de sistemas para modelação e optimização do corte fez com que a empresa adquirisse um sistema automático de corte e um sistema CAD, contribuindo para a melhoria dos sectores de modelagem, estilismo e corte, aumentando a produtividade desses sectores.

O nível operacional fornecido dá conta dos problemas actuais da empresa referidos como as desvantagens da organização da confecção: elevados tempos mortos, elevadas movimentações dos lotes e consequentemente elevado trabalho em curso de fabrico, elevados stocks de artigos finais devido ao excesso de produção que resulta quer de uma produção antecipada quer de uma produção excedentária que serve para compensar a alta taxa de defeitos e as avarias das máquinas o que implica a criação de espaços de armazenagem e o empate de capital e ainda elevados tempos de entrega, dependentes em larga medida dos tempos das operações de preparação que não acrescentam qualquer valor ao produto.

Saídas do planeamento estratégico da produção

Os planos de produção agregada dão conta, dentro da gama de artigos produzidos pela empresa, das seguintes famílias de produção:

- | | |
|--------------------------|------------------|
| ❖ Fato | ❖ Macacão |
| ❖ Jardineira | ❖ Fato de treino |
| ❖ Conjunto de três peças | ❖ Camisola |
| ❖ Calção | ❖ Casaco |
| ❖ Pijama | ❖ T-shirt |

Inicialmente com uma estratégia de Fabrico por Encomenda, a empresa começa a participar no mercado com a criação de colecções próprias e venda directa em lojas, o que obriga à necessidade de uma resposta ao cliente mais rápida, para enfrentar uma concorrência crescente, de modo a satisfazer clientes com necessidades bastante individualizadas.

Atendendo aos objectivos pretendidos, isto é, a qualidade para os artigos, a melhoria do serviço ao cliente através dos prazos e variedade de artigos, a melhoria do fluxo produtivo, a estratégia de produção da empresa deve basear-se no produto, para assim conseguir a flexibilidade necessária para conseguir estes objectivos. Adoptar esta estratégia vai implicar mudanças, mudanças estas no âmbito organizacional e produtivo que implica a reengenharia do sistema de produção existente.

A identificação da alta taxa de defeitos na malha levou a empresa a comprar uma máquina de revista de malha acabada. Mas os defeitos não se deviam apenas à malha nem os problemas se deviam apenas aos defeitos pelo que talvez a empresa deva pensar em adoptar técnicas e medidas ligadas à filosofia JIT como Controlo ou Gestão de Qualidade Total, Manutenção Preventiva Total e outros.

8.2.1.2. Análise da situação actual

Através desta análise procura-se identificar a situação existente da empresa em termos de artigos, recursos e processos e identificar os artigos com mais valor e os de maior quantidade. Verifica-se o sistema em funcionamento, o nível operacional fornecido e os problemas existentes. Se possível, classifica-se a empresa em relação ao tipo de fábrica existente. Na obtenção destes resultados é necessária a informação fabril que se encontra nos departamento de produção, técnico, aprovisionamentos, comercial, administração e financeiro.

Entradas à análise da situação actual

As famílias de artigos finais produzidos pela empresa, como foram referidas, são: fato, jardineira, conjunto de três peças, pijama, calção, macacão, fato de treino, camisola e casaco. Para cada família existe uma diversidade de referências que representam artigos diferentes. Para cada artigo existe uma grande variedade de medidas desde 1 mês até 2 anos, tendo alguns artigos até 5 anos. A listagem detalhada dos constituintes de um fato de bebé está no anexo III (página A-7).

Os artigos são transportados em lotes de posto para posto e só após as operações a realizar num posto terminarem é que este lote é transferido para o próximo posto de trabalho.

A matéria prima utilizada para produzir as peças é a malha, além desta é necessário um conjunto de matérias subsidiárias como botões, elásticos, laços, rendas, molas entre outros.

A implantação da confecção, acabamentos e embalagem encontra-se no anexo I (página A-3). As áreas ocupadas por secção estão apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18. Área ocupada por secção

Secção	Área (m ²)			
	Zonas de armazenagem	Área vaga	Centros de trabalho	Totais
Confecção	22	60	408	490
Acabamentos	14	26	60	100
Embalagem	95	-----	135	230

O tipo de máquinas existentes na confecção assim como o número de cada tipo estão listadas no anexo IV (páginas A-9, A-10, A-11) mas na Tabela 19 encontra-se um resumo onde se pode ver que as máquinas são, maioritariamente, máquinas de Corte e Cose. Das 47 máquinas de Corte e Cose, algumas apresentam características específicas.

Tabela 19. Designação e quantidade de máquinas

Designação	Quantidade
Máquina de Corte e Cose	47
Máquina de Ponto Corrido	13
Máquina de Clorete	7
Máquina de Elástico	3
Máquina de Casear	1
Máquina de Pregar Botões	1
Máquina de Picueta	1
Máquinas de Molas	6 (3 pares)
Mesas de Acabamento	11

Nem todas as máquinas disponíveis são utilizadas simultaneamente, encontrando-se algumas delas parquedadas. Na secção de acabamentos existe duas prensas operacionais e na secção de embalagem existem várias mesas de embalagem.

Os recursos humanos existentes na empresa distribuem-se pelas funções segundo a Tabela 20.

Tabela 20. Distribuição dos Recursos Humanos pelas funções

Gerência	1
Administração e Financeiro	10
Comercial	6
Estilismo e criação	7
Produção	
- total	112
- costureiras	45
Outros	5
Total	141

A identificação de cada operária e as operações principais que sabe realizar, classificadas segundo dois níveis do conhecimento que possuem sobre as operações assim como o seu nível de formação escolar, estão no anexo V (páginas A-13 a A-15). Como o absentismo pode afectar o funcionamento de uma célula também é necessário saber a taxa de absentismo (anexo VI, página A-17).

Na mesa do corte são cortados lotes de peças que são levados até às linhas. Em cada posto da linha a operadora executa a operação em cada peça do lote e só após terminar todas as peças de um lote é que este é encaminhado para o próximo posto.

Cada artigo é obtido pela costura de várias peças e adição de molas, fechos e botões. Alguns mapas de operações e fluxogramas estão apresentados no anexo VII (páginas A19 a A-60). Pode-se, através da observação destes mapas, verificar que as operações para obter um artigo dividem-se em 3 conjuntos: as operações de preparação que diferem para quase todos os artigos inclusive artigos da mesma família, exigindo estas tipos de máquinas diferentes; as operações de costura das frentes, das costas, das mangas e das outras peças constituintes de um artigo, utilizando quase sempre o mesmo tipo de máquina e variando de família para família e as operações de acabamento que são comuns à maioria dos artigos.

Saídas da análise da situação actual

A análise ABC por quantidade e valor das referências de duas colecções produzidas pela empresa permite agrupá-las em classes diferentes para identificar melhor as referências mais importantes para a empresa, quer em termos de valor quer em termos de quantidade (anexo VIII, páginas A-62 a A-73). As referências mais significativas em termos de quantidade coincidem aproximadamente com as referências mais significativas por valor tanto para uma colecção como para outra. Verifica-se ainda pelas listagens que 80% da quantidade produzida não corresponde exactamente a 20% do total das referências mas aproxima-se dos valores 40 – 50%.

A análise por quantidade é mais importante neste trabalho do que o valor adquirido com a venda dos produtos pois as quantidades estão directamente ligadas ao fluxo produtivo e às suas perturbações e o valor está mais associado aos materiais. A análise ABC por quantidade agrupada por família identifica quais as referências mais representativas de cada família.

Pode verificar-se pela Tabela 21 que para a colecção 1 as famílias de produção que contribuem com 80% da quantidade (anual) são as jardineiras, os fatos, os macacões e os calções, para a colecção 2 são os fatos, as jardineiras, os fatos de treino e os macacões. Nesta destacam-se os fatos com uma quantidade bastante elevada relativamente às restantes famílias.

Tabela 21. Quantidades por família para cada colecção

Colecção 1				Colecção 2			
Cod.	Des.	Quant.	% quant.	Cod.	Des.	Quant.	% quant.
015	Jardineira	26757	27	001	Fato	66017	44
001	Fato	25490	25	015	Jardineira	26170	17
002	Macacão	15894	16	030	Fato treino	22615	15
020	Calção	12605	12	002	Macacão	16500	11
030	Fato treino	6600	7	035	Camisola	8514	6
036	Casaco	5250	5	010	Conjunto	5670	4
035	Camisola	3060	3	025	Pijama	3338	2
040	T-shirt	2597	3	036	Casaco	1150	1
010	Conjunto	2083	2	Total		149974	100
Total		100336	100				

As quantidades requeridas dos artigos finais são estabelecidas pela quantidade da encomenda e as quantidades de malha e materiais subsidiários são depois calculadas através do sistema MRP implementado na empresa (anexo IX, página A-77).

O cliente propõe uma data de entrega para a encomenda que depois de realizado o cálculo da capacidade de produção necessária (anexo X, página A-79) através dos tempos de operação recolhidos durante a fabricação da amostra é ou não confirmada ao cliente. Estes cálculos determinam a necessidade de horas extraordinárias ou de subcontratação.

As ordens de produção são lançadas, pelo menos, 15 dias antes da data de entrega (1 semana para o corte, 1 semana para bordados / estampados, para os artigos que levem bordados, e 1 semana para confecção). A encarregada responsável pela confecção recebe o programa de produção semanal (anexo X, página A-79) e distribui as tarefas durante a semana ao seu critério, dependendo da disponibilidade das máquinas / operárias e da polivalência das operárias, fazendo com estas acordos para a realização de horas extras, se necessário.

Identificação das causas de paragem das máquinas / postos de trabalho que constituem operações não produtivas: costuras mal feitas (atribuído à operadora); espera de obra (devido a atraso na secção de bordados / estampados ou secções anteriores); avaria de máquina, mudar a linha, afinar o ponto.

Identificação dos defeitos da malha que apenas no estendimento desta na mesa de corte é que são detectados e apenas os grandes defeitos porque os restantes só se descobrem na confecção, por vezes tarde demais. No tipo de implantação existente estes problemas são em parte absorvidos uma vez que as tarefas dos vários postos de trabalho não estão totalmente dependentes umas das outras, havendo a possibilidade de distribuir a mesma tarefa por vários postos enquanto não são reparados os defeitos.

A compra da máquina de revista de malha acabada permitiu eliminar quase na totalidade estes defeitos antes da entrada das peças na confecção. Os defeitos de bordados/estampados também são evitados inspeccionando as peças à saídas das máquinas desta secção.

A empresa recorre muito a subcontratação de peças que constituem o artigo final. A maior parte dos subcontratados só entrega as peças perto da data de embarque causando

estrangulamento nos acabamentos (marcar molas, pregar molas, prensar) que se repercute em estrangulamento nos armazéns de embalagem e expedição.

A secção da confecção tem uma implantação em linhas de fabrico e produz por lotes que tem como principais desvantagens: a impossibilidade de eliminar os tempos mortos e elevadas movimentações dos lotes que conduz a uma gestão complexa da área, o elevado número de trabalhos em curso de fabrico e tempos de entrega tardios que permitem picos de trabalho nas operações finais de acabamento e embalagem. O acompanhamento da produção complexo e demorado, dada a necessidade de contabilizar por ordem de produção as quantidades já produzidas por operação.

Algumas destas desvantagens constituíam formas de resolver os problemas resultantes deste tipo de implantação como os elevados trabalhos em curso de fabrico necessários para alimentar os postos de trabalho, obstruindo, no entanto, as passagens para transporte.

O controlo de qualidade é efectuado no final do processo, nas mesas de acabamento entretanto acrescentou-se valor a um artigo com defeito.

A taxa média de absentismo da confecção registada num determinado período ronda os 15,3% o que pode ser pertinente para o funcionamento das células, sendo necessário um estudo mais aprofundado da pertinência e das causas deste valor.

Pode ver-se pelo anexo V (páginas A-13 a A-15) que algumas operadoras sabem operar mais do que um tipo de máquina, indicando isto alguma polivalência das operárias.

Pela análise dos diagramas do fluxo do anexo VII (páginas A-19 a A-60) pode constatar-se alguns aspectos importantes como: a definição clara dos fluxos de trabalho de cada lote de peças com operações simples e de curta duração, os tipos de máquinas utilizadas são quase sempre as mesmas (corte e cose) que não requerem grandes preparações, apenas mudança de linha e afinação do ponto.

A constituição dos artigos produzidos pela empresa (por exemplo: fato de bebé anexo III, página A-7) demonstram a utilização de uma matéria prima principal, a malha, havendo alguma diversidade de tipos de malhas, podendo ser bordada ou estampada antes da costura e um conjunto de materiais complementares comprados ao exterior como botões, molas entre outros.

Devido à estrutura do produto, a empresa pode classificar-se como fábrica do tipo V, porque, é obtido um número grande de artigos finais tendo como base a malha e um conjunto de matérias subsidiárias. A estratégia de resposta à procura é o fabrico por encomenda para clientes habituais havendo, no entanto, algum fabrico para stock principalmente para as lojas de venda directa ao consumidor.

8.2.1.3. Identificação do tipo de sistema de produção

O sistema de produção existente, uma linha de fabrico com produção por lotes, como se viu na actividade anterior, não apresenta um bom desempenho criando muitos problemas que impedem a empresa de atingir os objectivos que pretende. Por esta razão é necessário identificar e implementar um sistema que resolva os problemas existentes e que seja capaz de suportar a estratégia de produção no sentido de diminuir os prazos de entrega e permitir mais flexibilidade na produção de pequenas séries de produtos variados sem comprometer a qualidade.

Entradas à identificação do tipo de sistema de produção

As entradas nesta actividade são as configurações genéricas de sistemas orientados ao produto ou à função. A configuração existente é de um sistema orientado ao produto (linhas de produção) mas torna-se evidente pelos objectivos pretendidos e pelos problemas expostos na actividade da análise da situação actual que esta configuração não é a mais adequada.

Também na secção anterior referem-se algumas características, nomeadamente as características referentes às quantidades e variedade de artigos, aos tipos de máquinas, à baixa complexidade dos planos de processo, à pouca formação dos operários e aos fluxos bem definidos que são características de um sistema orientado ao produto portanto indicam a continuidade deste tipo de sistema. No entanto outros elementos são necessários para concluir isto com mais clareza.

Restrições à identificação do tipo de sistema

A estratégia de resposta à procura é do tipo de fabrico por encomenda. Para esta estratégia o sistema mais adequado é, normalmente, um sistema de produção orientado à função com viabilidade para implementar um SPOP perante a possibilidade de formação de famílias. Outro tipo de resposta é aquela que a empresa pretende oferecer aos clientes das lojas com colecções definidas pela empresa, que evidencia uma

estratégia para stock traduzindo respostas rápidas. Este tipo de estratégia, normalmente requer um tipo de sistema de produção orientado ao produto.

Assim, por um lado, pretende-se flexibilidade no sistema de produção para acomodar a variedade dos artigos e, por outro lado, respostas rápidas e melhoria no nível de serviço prestado aos clientes, nomeadamente nos prazos de entrega. Por estes requisitos um sistema orientado ao produto é mais adequado do que um sistema orientado à função que apesar de ser o mais flexível, não é rápido devido aos prazos de entrega demorados.

Pode-se caracterizar o mercado da empresa como um mercado estável e regular uma vez que a procura no médio prazo é conhecida baseando-se nas encomendas dos clientes e na preparação das colecções. Não é um mercado de grandes quantidades, mas estas quantidades estão associadas a uma variedade razoável de artigos a produzir durante um determinado período. Portanto relativamente ao mercado pode-se dizer que a escolha também é a de um sistema orientado ao produto.

No sistema existente produzia-se por lotes mas os objectivos definidos pela empresa parecem indicar a necessidade de reduzir o tamanho dos lotes em favor da variedade dos artigos para responder às necessidades individualizadas dos clientes. No entanto, esta necessidade pode ser satisfeita continuando na mesma com um sistema orientado ao produto, se se conseguir formar famílias de produtos.

A existência de famílias de produção e a análise dos fluxogramas dos artigos dessas famílias (anexo VII, páginas A-19 a A-60) com características de processamento semelhantes sugere haver possibilidade de formação de famílias de artigos para células pelo que há viabilidade de dar continuidade ao SPOP na configuração de célula.

O sistema orientado à função é, normalmente muito apropriado no caso de um tipo de fábrica V mas quando a possibilidade de formar famílias existe, que é o caso, o sistema orientado ao produto é também apropriado.

Saídas da identificação do tipo de sistema

Atendendo às características referidas até agora, às classificações que se foram fazendo da empresa e às características que se pretendem como tempos de produção por unidade curtos e constantes, melhoria do fluxo produtivo através da criação de fluxo sequencial e unitário, eliminação dos trabalhos em curso de fabrico provocados pelas elevadas movimentações dos lotes, acompanhamento mais fácil da produção, aumento da

produtividade e da eficiência da mão de obra, maior controlo da qualidade desde o início ao fim da produção, indicam a continuidade do sistema orientado ao produto mas adoptando uma configuração diferente das linhas de produção.

8.2.2. Projecto Conceptual

No Projecto Conceptual faz-se a avaliação das configurações SPOP e selecciona-se a configuração mais conveniente para os objectivos da empresa. Além disto procura-se estabelecer alguns parâmetros segundo os quais irá operar a configuração.

8.2.2.1. Selecção da configuração conceptual

A análise das configurações conceptuais vai permitir seleccionar uma configuração que atenda às prioridades mais importantes da empresa. Essas prioridades ou critérios são: a flexibilidade na produção de pequenas séries de produtos variados, o nível de serviço prestado ao cliente em termos de prazos de entrega e capacidade de resposta e a produtividade e a eficiência da mão de obra.

Entradas à selecção da configuração conceptual

Durante o desenvolvimento da actividade de identificação do tipo de sistema de produção verificou-se que o sistema orientado ao produto era o sistema mais adequado perante os objectivos e as características da empresa, assim são analisadas as configurações de SPOP para que uma delas seja escolhida.

Restrições à selecção da configuração conceptual

A estratégia de resposta à procura é de produzir para satisfazer uma procura conhecida, baseada nas encomendas, no médio prazo. O tipo de mercado caracteriza-se pela estabilidade e regularidade e com uma variedade média de artigos. Para estas características de mercado e através da Tabela 14 (secção 6.1.2) os sistemas aconselháveis são: a linha de produção repetitiva de artigos misturados (LPM), a linha de produção flexível (LPF) e a célula de trabalho JIT.

A LPM não constitui uma boa solução porque existe uma variedade dos artigos e a possibilidade de formar famílias é muito grande. Além de que esta linha torna-se mais dispendiosa do que a existente e o seu balanceamento é mais complexo devido à preparação da linha quando a mistura dos artigos se altera.

Se se tratasse de uma empresa que tivesse máquinas ou centros de maquinagem de Controlo Numérico poderia encontrar a flexibilidade que procura, através da utilização de uma linha de produção flexível (LPF), sendo compatível a produção misturada de artigos. No entanto, as máquinas existentes são máquinas simples com um custo de operação relativamente baixo e a empresa não pensa investir em novo equipamento. A flexibilidade que a empresa pretende também se associa à facilidade de rapidamente alterar a implantação e o número de recursos usados para responder a taxas variáveis de produção.

Além destas características, alguns dos objectivos da empresa são muito parecidos com os objectivos da filosofia JIT: redução de stocks, fluxo produtivo nivelado, redução das áreas de armazenagem, melhorias de qualidade, entre outros. Isto poderia indicar a adequabilidade da célula JIT. O histórico desta configuração é que tem sido aplicada no tipo de indústria onde a empresa está inserida e tem tido sucesso (Sekine, 1990), (Black, 1995). A rapidez de resposta exigida faz também lembrar o objectivo principal do sistema Quick Response descrito na secção 6.1.1 (Suri, 1998).

Mecanismos à selecção da configuração conceptual

À semelhança do que se referiu na secção 6.1.3, a utilização da técnica de análise pesada de factores permite avaliar e seleccionar alternativas. Assim utiliza-se este método para avaliar as três configurações referidas acima, dando o maior peso aos critérios considerados importantes para a empresa como: a variedade dos artigos, a valorização dos recursos humanos através da polivalência e os tempos de preparação.

A estes três factores atribuem-se os maiores pesos supondo prioridades diferentes entre eles (10, 9 e 8, respectivamente). Cada alternativa é também ordenada para cada factor numa escala de 1 a 5 (grau 5 representa a situação muito bom) (Tabela 22).

Os resultados mostram a vantagem da configuração CJIT sobre as outras duas configurações embora este resultado precise de uma análise de sensibilidade (secção 5.3.3) ou outra forma complementar de avaliação devido à subjectividade envolvida na atribuição dos pesos às configurações.

Tabela 22. Matriz que relaciona os factores de avaliação com as configurações

Factores de avaliação	Peso	LPM	LPF	CJIT
Taxa de produção	5	4/20	4/20	4/20
Variedade de artigos	10	1/10	3/30	3/30
Movimento intercelular	5	5/25	5/25	5/25
Tempos de preparação	8	1/8	3/24	4/32
Tempos de espera	7	4/28	4/28	4/28
Custo do sistema	6	2/12	2/12	3/18
Polivalência	9	3/18	1/9	5/45
total	121	148	198	

Saídas da selecção da configuração conceptual

Atendendo às características enunciadas, às restrições desta actividade e à avaliação anterior, a configuração mais adequada à empresa é a célula de trabalho JIT.

8.2.2.2. Estabelecimento de parâmetros operatórios

Nesta actividade procura-se definir alguns parâmetros operatórios e estimar alguns elementos necessários para desenvolver o Projecto Detalhado.

Entradas ao estabelecimento de parâmetros operatórios

Nos anexos IV, V, VII e VIII e nos dados da análise da situação actual podem encontrar-se algumas informações necessárias ao desenvolvimento desta actividade.

As quantidades consideradas para continuar o desenvolvimento desta e das próximas actividades são as quantidades apresentadas para fazer as análises ABC (anexo VIII, páginas A-62 a A-73) e apenas para a colecção 2 pois o relatório só possui planos de processo para as referências pertencentes à colecção 2 justificando esta escolha pelo facto desta apresentar uma maior concentração das referências.

Existem algumas diferenças entre a colecção 1 e 2 que merecem alguma atenção (Tabela 21). Pode verificar-se que a colecção 2 apresenta as maiores quantidades das famílias mais representativas e uma família exclusiva (025) desta colecção. No entanto na colecção 1 estão representadas 3 famílias importantes e comuns à colecção 2 e uma quarta família (020) exclusiva desta colecção que pelas quantidades que envolve também se destaca. Além desta, está ainda representada uma outra família (040) cujas quantidades não são tão significativas. Parece existirem assim alguns motivos para

questionar aquela escolha mas como não há todos os dados sobre as referências das famílias da colecção 1, os cálculos daqui para a frente têm como base as quantidades das referências da colecção 2 pertencentes à classe A (Tabela 23).

A Tabela 23 apresenta também o tempo de processamento das operações de costura (Tp), o tempo das operações de acabamento (Ta) e o tempo das operações de preparação (Tpp) em minutos e o número de máquinas diferentes (N. maq¹) que cada referência utiliza. Estes valores foram obtidos a partir dos mapas de operações e dos diagramas de fluxo (anexo VII, páginas A-19 a A-60).

Tabela 23. Referências da classe A

N.º	Ref.	Fam.	Qtd.	Tp	Ta	Tpp	N. maq ¹	N.º	Ref.	Fam.	Qtd.	Tp	Ta	Tpp	N. maq ¹
1	1656	001	9734	2.97	2.13	5.06	5	21	1530	035	2047	3.81	1.27	1.65	6
2	1549	015	7394	1.37	.79	1.03	4	22	1627	030	2000	4.16	.99	1.08	5
												3.63	.57	1.55	3
3	1510	001	5780	3.90	1.71	3.63	5	23	1542	002	1920	4.41	1.04	7.82	3
4	1648	001	5087	5.01	3.11	2.79	4	24	1697	002	1920	4.93	.87	2.53	3
5	1653	010	5068	1.68	2.16	6.84	5	25	1518	015	1824	1.37	.79	2.63	5
				3.81	1.27	2.14	5								
6	1651	001	5059	5.72	1.93	5.20	6	26	1663	015	1824	1.37	.79	1.03	4
7	1598	030	4986	3.15	1.06	2.49	4	27	1617	015	1779	1.37	.79	1.03	4
				3.63	.57	1.55	3								
8	1596	001	4796	2.97	1.71	3.11	5	28	1527	030	1771	5.19	.99	5.30	3
												2.84	.56	1.02	3
9	1662	001	4693	2.97	1.71	1.38	4	29	1535	001	1748	3.80	1.71	2.14	5
10	1647	015	4073	1.37	.79	1.43	4	30	1676	030	1740	1.80	.92	3.63	5
												3.63	.57	1.55	3
11	1600	001	3900	2.97	1.71	2.55	4	31	1670	030	1717	2.68	.86	1.85	5
												1.56	.56	1.10	3
12	1528	001	3798	3.87	1.71	2.99	5	32	1625	001	1675	2.23	1.03	2.51	4
13	1523	035	3620	4.23	2.82	1.00	4	33	1610	001	1600	2.97	1.71	1.78	4
14	1513	030	3117	3.08	1.16	2.85	5	34	1547	001	1599	3.13	1.71	1.38	4
				1.58	.56	0.84	3								
15	1543	001	3000	3.63	.75	3.18	3	35	1624	002	1501	3.40	.82	2.53	3
16	1597	002	2448	7.14	.89	3.68	3	36	1525	015	1500	1.18	2.03	3.61	5
17	1537	015	2290	1.36	1.00	4.90	5	37	1694	001	1500	3.03	1.71	5.20	5
18	1550	001	2175	2.97	1.71	1.38	4	38	1695	001	1500	3.44	1.71	1.49	4
19	1619	002	2081	7.14	.89	3.68	3	39	9376	030	1494	3.15	1.06	2.49	4
												3.63	.57	1.55	3
20	1532	015	2051	1.61	2.04	5.25	5	40	1666	002	1483	4.41	.87	1.77	3

O horário de trabalho é de 8 horas por dia e 5 dias por semana. Cada colecção é produzida em 6 meses. A área total da confecção é de 490 m².

O número e a capacidade das operadoras estão na Tabela 20 e no anexo V (páginas A-13 a A-15), respectivamente. O número de máquinas disponível por tipo de máquina apresenta-se no anexo IV (página A-9, A-10 e A-11) e na Tabela 19.

A distribuição das quantidades por família nesta amostra de referências (40) representa as famílias aproximadamente com a mesma percentagem que na população (93 referências), excepto as famílias de menores quantidades (pijama e casaco). Na Tabela 24 encontram-se as quantidades por família e o número médio de máquinas corte e cose que cada família necessita para as operações de preparação e operações de processamento.

Tabela 24. Quantidades por família e outras informações para as referências pertencentes á classe A

Cod.(n.º)	Des.	Qtd.	% Qtd.	N.º de máquinas CC (média)	
				Op. Prep.	Op. Proc.
001 (16)	Fato	57644	48	6	7
015 (8)	Jardineira	22735	19	5	3
030 (14)	Fato treino	16825	14	5	5
002 (6)	Macacão	11353	10	7	7
035 (2)	Camisola	5667	5	4	6
010(2)	Conjunto	5068	4	5	4
025	Pijama	-----	0	----	----
036	Casaco	-----	0	----	----
Total		119292	100	32	32

Saídas do estabelecimento de parâmetros operatórios

O total de dias para produzir aquelas quantidades é de, aproximadamente, 120 dias (supondo 1 mês = 20 dias). Projectar 8 células, uma para cada família identificada na análise ABC podia fazer sentido se as quantidades requeridas, por cada, fossem iguais porque, por vezes, a formação das famílias é justificada pelas quantidades produzidas.

Mas como isso não acontece e como as quantidades de algumas famílias quando comparadas com as outras tem um valor quase irrisório parece que dedicar uma célula (ou mais) às famílias de maior quantidade faz mais sentido (fato, jardineira, fato de treino e macacão) permitindo depois a produção das outras famílias nestas células.

Portanto inicialmente podia-se estimar como 4 o número de células necessárias. Atendendo ao número de máquinas e número de operadores existentes pode-se fazer uma análise grosseira de como ficariam as células constituídas. Na Tabela 25 apresenta-se uma possível forma de agrupamento que não atendeu a nenhum critério específico

baseou-se apenas na tentativa de aproximar as quantidades a produzir das diferentes famílias por célula.

Nessa tabela estão ainda alguns tempos médios de preparação (Tpp), de processamento (Tp) e acabamento (Ta) e o número de máquinas CC necessárias (N.º máq.) quer para a preparação quer para o processamento para cada célula.

Tabela 25. Constituição das células baseada nas quantidades a produzir

Cod.	Des.	Quant.	quant./dia	N.º máq.	Tpp	Tp	Ta	Tt
001	Fato	66017	550	13	2.86	3.47	1.73	8.06
015	Jardineira	26170	218	8	2.64	1.37	1.13	5.14
025	Pijama	3338	30	----	----	----	-----	-----
030	Fato treino	22615	188	10	2.16	3.12	0.78	6.06
035	Camisola	8514	71	10	1.32	4.02	2.05	7.39
002	Macacão	16500	138	14	3.67	5.07	0.90	9.64
010	Conjunto	5670	47	9	4.49	2.75	4.49	11.73
036	Casaco	1150	10	----	----	-----	-----	----

Existindo na empresa 47 máquinas de CC e atribuindo o n.º de máquinas apresentado na tabela estas são suficientes ($13+8+10+14=45$). O número de operadoras a afectar a cada célula vai depender do balanceamento e tipo de afectação pretendido mas havendo 45 operárias que sabem trabalhar nas máquinas de CC parece existir a possibilidade de colocar uma por máquina se for essa a melhor opção.

O fluxo de trabalho nivelado dos materiais e a fabricação unitária requerida nas células JIT limitam as alternativas para o tamanho de lote que deverá ser unitário. Apenas uma peça é transferida de posto para posto até ao final das suas operações. O número e a constituição das células obtidas nesta fase não é com certeza a solução final mas serve como uma base inicial de trabalho.

8.2.3. Projecto Detalhado

O objectivo do Projecto Detalhado é dar corpo à configuração seleccionada e estabelecer o número de células necessárias formando assim as famílias de artigos e os grupos de máquinas, replicando os recursos e estabelecendo o arranjo intracelular e intercelular.

8.2.3.1. Seleção de artigos

A constituição das células baseada apenas na quantidade a produzir não é suficiente nesta fase. Torna-se necessário detalhar a análise observando mais de perto as referências dos artigos classificadas como pertencentes á classes A na análise ABC.

Entradas à seleção de artigos

Através da análise dos planos de processo e dos diagramas de fluxo (anexo VII, páginas A-19 a A-60) e durante a construção da Tabela 23 verifica-se que as produções de série e de acabamento têm comportamentos muito semelhantes quer dentro da mesma família quer entre famílias diferentes. No entanto, com as operações de preparação isso não acontece devido à dissimilaridade existente mesmo para artigos da mesma família sendo estas, muito diversificadas.

O agrupamento baseado na similaridade das operações de costura pode fazer sentido desde que as operações de preparação sejam excluídas das possíveis células pois isto não acontecendo a probabilidade de formar células é pequena devido à diversificação destas operações.

Para uma melhor identificação das operações de série analisadas apresentam-se na Tabela 26 o código, a designação das operações e as máquinas onde são realizadas.

Tabela 26. Operações base das referências

Código	Designação	Máquina
400	Coser ombros	Corta e cose (CC)
410	Coser mangas	Corta e cose (CC)
415	Emendar carcela	Corta e cose (CC)
420	Fechar lados	Corta e cose (CC)
430	Fechar entre pernas	Corta e cose (CC)
440	Coser patas	Corta e cose (CC)
600	Coser punhos	Corta e cose (CC)
601	Cravar viés decote	Ponto Corrido (PC)
602	Meter viés decote	Clorete 1 ag. (Col)
603	Coser fecho + reforços	Ponto Corrido (PC)
604	Meter elástico cinta	Elástico 2 ag. (Elast)
606	Fechar ½ lado + elástico	Corta e cose aut. (CC)
607	Mosquear fecho, gola ou bainha	Mosquear (Mosq)
610	Coser gola + etiqueta	Corta e cose (CC)
611	Pregar laços ou fitas	Ponto Corrido (PC)
613	Fazer bainha fundo e/ou rachas	Corta e cose 2 ag. (CC)
620	Passar ponto pontas colete ou rachas ou cinta (o) + fitas	Corta e cose (CC)
804	Casear	Casear (Casea)

As operações de acabamento não são muito significativas para a distinção entre grupos, uma vez que a sua sequência era comum a quase todas as referências, dividindo-as em

dois grandes grupos: o grupo que passava por todas as operações de acabamento como rematar e revistar, marcar e pregar molas e prensar englobando a família 001 (fato), a família 015 (jardineira), a família 010 (conjunto), a família 035 (camisola) e a parte superior da família 030 (camisola) e o grupo que apenas necessitava do remate, revista e prensa englobando a família 002 (macacão) e a parte inferior da família 030 (calças). A análise da possibilidade de um agrupamento foi procurada através de um dos métodos de agrupamento baseado em matrizes utilizando as referências identificadas na análise ABC e as operações pelas quais elas passam (a maioria destas operações eram feitas em máquinas do mesmo tipo). O método usado foi o ROC2 (King, 1982) e a matriz inicial de 48x18 encontra-se na Tabela 27.

Saídas da selecção de artigos

A matriz resultante após 4 iterações encontra-se na Tabela 28 mostrando os principais agrupamentos. Como se pode constatar exceptuando algumas referências, existe quase uma relação directa entre as famílias de produção e as famílias que servirão de base às células.

Tabela 27. Matriz inicial referências / operações

		400	410	415	420	430	440	600	601	602	603	604	606	607	610	611	613	620	804
		C.C.	C.C.	C.C.	C.C.	C.C.	C.C.	C.C.	P.C.	Col.	C.C.	Elast.	C.C.	Mosq	C.C.	P.C.	C.C.	C.C.	Casea
Fam. 001	1550	1	1		1	1	1	1							1				
	1662	1	1		1	1	1	1							1				
	1695	1	1		1	1	1	1							1				
	1610	1	1		1	1	1	1							1				
	1600	1	1		1	1	1	1							1				
	1547		1		1	1	1	1							1				
	1625	1			1	1	1	1							1				
	1694	1	1		1	1	1	1							1				
	1596	1	1		1	1	1	1							1				
	1656	1	1		1	1	1	1							1				
	1535	1	1		1	1	1	1	1	1					1				
	1528	1	1		1	1	1	1	1	1					1				
	1510	1	1		1	1	1	1	1	1					1	1			
	1651	1	1		1	1	1	1	1	1					1	1		1	1
	1543		1		1	1	1	1						1	1				
	1648	1	1		1		1	1						1	1				
Fam. 015	1647				1	1	1												
	1537				1	1	1												
	1518				1	1	1												
	1525				1	1	1												
	1532				1	1	1		1										
	1549				1	1	1												
	1617				1	1	1												
	1663				1	1	1												
Fam. 002	1666	1	1		1	1		1	1						1			1	
	1597	1	1		1	1		1	1						1			1	
	1619	1	1		1	1		1	1						1			1	
	1697	1	1		1	1		1	1						1			1	
	1624	1	1		1	1		1						1	1			1	
	1542	1	1		1	1		1	1						1			1	
Fam. 030	1513s	1			1			1	1	1					1			1	
	1527s	1			1			1	1						1			1	
	1676s				1			1						1	1			1	
	1670s	1	1		1			1						1	1			1	
	1627s		1		1			1	1		1			1	1				
	1598s				1			1			1				1		1		
	9376s				1			1			1				1		1		
	1527i				1	1		1				1	1		1				
	1513i				1	1		1				1	1						
	1670i				1	1					1	1	1						
	1598i				1	1					1	1	1						
	9376i				1	1					1	1	1						
	1627i				1	1					1	1	1						
	1676i				1	1					1	1	1						
Fam. 010	1653s	1	1		1			1	1	1	1			1	1			1	
	1653i			1	1	1	1								1			1	
Fam. 035	1523	1	1					1			1			1	1				
	1530	1	1		1	1		1	1	1	1			1					

Tabela 28. Matriz resultante

	420 C.C.	430 C.C.	440 C.C.	600 C.C.	610 C.C.	410 C.C.	400 C.C.	602 Col.	601 P.C.	620 C.C.	804 Casea	611 P.C.	607 Mosq.	606 C.C.	604 Elast.	415 C.C.	603 C.C.	613 C.C.
01/1651	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
01/1510	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1					
01/1535	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
01/1528	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
01/1550	1	1	1	1	1	1	1											
01/1662	1	1	1	1	1	1	1											
01/1695	1	1	1	1	1	1	1											
01/1610	1	1	1	1	1	1	1											
01/1600	1	1	1	1	1	1	1											
01/1547	1	1	1	1	1	1												
01/1625	1	1	1	1	1		1											
01/1694	1	1	1	1	1	1	1											
01/1596	1	1	1	1	1	1	1											
01/1656	1	1	1	1	1	1	1											
01/1543	1	1	1	1	1	1							1					
01/1648	1		1	1	1	1	1						1					
10/1653i	1	1	1		1					1						1		
15/1647	1	1	1															
15/1537	1	1	1															
15/1518	1	1	1															
15/1525	1	1	1															
15/1549	1	1	1															
15/1617	1	1	1															
15/1663	1	1	1															
15/1532	1	1	1						1									
35/1530	1	1		1		1	1	1	1				1				1	
02/1666	1	1		1	1	1	1		1	1								
02/1597	1	1		1	1	1	1		1	1								
02/1619	1	1		1	1	1	1		1	1								
02/1697	1	1		1	1	1	1		1	1								
02/1542	1	1		1	1	1	1		1	1								
02/1624	1	1		1	1	1	1			1			1					
30/1670s	1			1	1	1	1			1			1					
30/1676s	1			1	1					1			1					
30/1513s	1			1	1		1	1	1	1								
30/1527s	1			1	1		1		1	1								
30/1627s	1			1	1	1			1				1				1	
30/1598s	1			1	1												1	1
30/9376s	1			1	1												1	1
10/1653s	1			1	1	1	1	1	1	1			1				1	
35/1523				1	1	1	1						1				1	
30/1527i	1	1		1	1									1	1			
30/1670i	1	1												1	1		1	
30/1598i	1	1												1	1		1	
30/9376i	1	1												1	1		1	
30/1627i	1	1												1	1		1	
30/1676i	1	1												1	1		1	
30/1513i	1	1		1										1	1			

A passagem da 3ª para a 4ª iteração não trouxe melhorias acrescidas assemelhando-se muito pelo que se parou o processo. A distinção bem definida entre os agrupamentos ao fim da 4ª iteração não foi conseguida como se verifica mas a aglomeração dos “1’s” em certas zonas sugere a existência de 5 agrupamentos (separados na matriz pelo traço) designados de família A, B, C, D e E.

As operações de preparação sendo diversificadas requerem um estudo mais detalhado podendo algumas delas vir a serem integradas nas células. Alguns critérios a utilizar na separação das operações da preparação são: operações que tenham de ser realizadas antes de bordar (algumas peças têm um bordado por cima de uma determinada costura), operações que sejam difíceis de balancear na célula e que por isso provocam grandes diferenças no conteúdo de trabalho de cada operadora na célula, operações com durações mais elevadas que o tempo de ciclo.

Adoptando a célula JIT poderá haver necessidade de dar alguma formação às operárias no sentido de as tornar polivalentes, capazes de fazer qualquer operação em qualquer máquina. Além da formação sobre o modo de operar as máquinas também uma formação sobre o funcionamento das próprias, principalmente ao nível de mudar de linha e afinar o ponto evitaria que as máquinas parassem e esperassem que alguém o faça.

A quantidade diária a produzir vai ditar o tempo de ciclo para a célula e o número de operadores para cada célula também depende desta quantidade. A afectação dos operadores às células passaria ainda por uma análise mais detalhada durante a implementação das células podendo adoptar-se um dos métodos referidos na secção 7.3.3 ou qualquer outro método.

8.2.3.2. Selecção de equipamento

O resultado anterior foi a necessidade de constituir 5 células base diferentes, uma para cada família. A análise a estas famílias permite ainda que se façam algumas considerações no sentido de otimizar o número de máquinas, principalmente máquinas menos comuns e em menor número na empresa.

Entradas à selecção de equipamento

A família A, constituída por todas as referências da família do fato apresenta apenas duas referências (1543 e 1648) que precisam de uma máquina de mosquear, havendo

mais duas famílias (C e D) que também precisam de uma máquina deste tipo, possivelmente, pode-se reagrupar estas duas referências nas células das famílias C ou D. O seu processamento é muito semelhante ao processamento das referências da família C portanto podem-se incluir nesta célula e economizar uma máquina de mosquear.

A família B, constituída pelas referências da família jardineira, não apresenta referências que se comportam de forma diferente, excepto a referência 1653 – parte inferior, mas como as operações diferentes exigem uma máquina de CC não é critico porque são essas máquinas as necessárias para processar esta família.

A família C, sendo constituída por referências pertencentes a diferentes famílias (macacão, camisolas) apresenta algumas divergências nas operações, mas que não são criticas porque as máquinas são do mesmo tipo, excepto para o caso da referência 1530 e 1513 – parte superior que exigem uma máquina de clorete. Havendo duas famílias a exigir esta máquina (A e D) pode-se mudar o processamento destas referências para essas células. Talvez para a célula da família D que tem menos carga.

A família D fica constituída pelas referências da família das camisolas (035), as restantes camisolas do fato de treino e a parte superior do conjunto (010).

A família E fica constituída pelas referências da família do fato de treino mas apenas da parte inferior (calças). Com base nestas considerações identificaram-se cinco famílias de produtos com as seguintes operações de base (Tabela 29):

Tabela 29. Identificação de famílias para base da constituição das células

Fam.	Operações de base	Referências
A	Coser ombros; coser mangas; fechar entre pernas; coser patas; preparar e coser punhos, preparar e coser golas, (meter clorete no decote); (cravar decote) Rematar e revistar; marcar molas, pregar molas macho e molas fêmea, apertar molas, prensar	01/1550, 01/1662, 01/1695, 01/1610, 01/1600, 01/1547, 01/1625, 01/1694, 01/1596, 01/1656, 01/1535, 01/1528, 01/1510, 01/1651
B	Fechar lados; fechar entre pernas; coser patas (coser punhos) Rematar e revistar; marcar molas; pregar molas; macho e molas fêmea; apertar molas; prensar	15/1647, 15/1537, 15/1549, 15/1617, 15/1663, 15/1518, 15/1525, 15/1532, 10/1653 (jardineira)
C	Coser ombros; coser mangas; fechar lados; fechar entre pernas; preparar e coser punhos perna, preparar e coser golas; coser fecho Rematar e revistar, (marcar molas; pregar molas; macho e molas fêmea; apertar molas); prensar	02/1666, 02/1597, 02/1619, 02/1697, 30/1527 (camis.), 01/1543, 02/1624, 01/1648, 30/1676 (camis.), 02/1542, 30/1670 (camis.), 30/1627 (camis.)
D	Coser ombros; coser mangas; fechar lados; coser gola, (meter viés decote; cravar decote); fazer	35/1523, 35/1530, 10/1653, 30/1598 (camis.), 30/9376

	baínha fundo; mosquear baínha Rematar e revistar; marcar molas; pregar molas; macho e molas fêmea; apertar molas; prensar	(camis.), 30/1513 (camis.)
E	Fechar 1 lado + ½ patas; fechar entre pernas; preparar e coser punhos; passar ponto cinta; meter elástico cinta; fechar elástico cinta; fechar elástico Rematar e revistar; prensar	30/1670, 30/1598, 30/9376, 30/1627, 30/1676, 30/1513, 30/1527 (calças)

Saídas da selecção de equipamento

Identificadas as famílias, é fácil identificar os grupos de máquinas associados a cada.

Para a família A (célula 1) são necessárias, pelo menos 7 máquinas de corte e cose, 2 máquinas de ponto corrido e 1 máquina de clorete para as operações de série.

As operações de remate e revista são manuais podendo e devendo ser realizadas em cada célula, as operações de acabamento de pregar molas poderão ser realizadas nas células se o número das células que necessitam destas operações não sejam mais que 3 células que é o número de pares disponíveis deste tipo de máquina, a operação de prensar ficará obviamente excluída estando as prensas dispostas num local e ficando disponíveis para serem partilhadas por todos os artigos.

A família B (célula 2) necessita de 4 máquinas de corte e cose, 1 ou 2 máquinas de ponto corrido se algumas operações de preparação chegarem a ser incluídas na célula.

A família C (célula 3) poderá também ter 7 máquinas de corte e cose e uma máquina de ponto corrido, a operação mosquear executada na maioria das referências desta família merece a única máquina que só faz este tipo de operação mas havendo algumas máquinas de corte e cose que fazem também esta operação, estas poderão ficar em células que uma ou outra vez possam exigir esta operação.

A família D (célula 4) precisa de 6 máquinas de corte e cose, 1 ou 2 de ponto corrido e de uma máquina de mosquear, uma vez atribuída a única existente à célula 2, pode-se instalar uma máquina de Corta e Cose que faça esta operação.

Por último a família E (célula 5) necessita de 5 máquinas de corte e cose, 1 de ponto corrido e de meter elástico.

No total existem 47 máquinas de Corte e Cose e a necessidade de máquinas em cada célula dá um total de 29, sobrando ainda bastantes máquinas o que pode significar a replicação de uma ou mais células (justificadas pela quantidade a produzir) dividindo o

total a produzir por mais células. Também convém que fiquem algumas parquedadas para substituir alguma máquina que avarie e principalmente para permitir a constituição ou reconfiguração de células novas ou existentes quando as referências o exigiam.

Existem 13 máquinas de ponto corrido, sendo este tipo de máquina necessário a todas as famílias também pode ficar uma por célula desde que o número de células não ultrapasse aquele número.

As máquinas de clorete, depois da optimização feita só são necessárias a duas famílias (A e D) podendo disponibilizar-se mais que uma por família (desde que se justifique) pois existem 7 disponíveis.

8.2.3.3. Formação de postos de trabalho

Da secção anterior verifica-se que não é necessário replicar máquinas porque para as células formadas elas são suficientes. No entanto é possível replicar células, isto é, constituir mais células, se necessário. A atribuição das pessoas às células também deve ser realizada nesta actividade mas para um desenvolvimento completo desta actividade e das seguintes seria necessário outros dados não fornecidos no relatório, por exemplo, os tempos das operações de todas as referências pertencentes às famílias a realizar nas células e não apenas das 40 referências da colecção 2.

Entradas à formação de postos de trabalho

O número e tipo de células, a utilização e a disponibilidade das máquinas, as quantidades requeridas das famílias a produzir para decidir sobre as células a duplicar. Os quadros das operárias com o conhecimento que possuem sobre as operações para as atribuir às células.

Saídas da formação de postos de trabalho

Ao realizar o planeamento semanal para a confecção é necessário verificar quais são as células que irão ser implantadas, podendo o tipo e o número de células variar de semana para semana consoante os requisitos da procura. Torna-se então necessário preparar a célula sempre que se muda de referência e sempre que esta obrigue a tal. Esta preparação não é mais do que ou acrescentar ou retirar uma máquina ou trocar uma ou mais máquinas na célula, assim como mudar o tipo/cor de linha a utilizar (caso a próxima referência o exija). De modo a facilitar esta preparação é possível dispor de uma área móvel reservada onde será montada a próxima célula, devendo as operadoras

mudar para a nova célula. Este trabalho pode ser realizado por uma equipa de manutenção.

A distribuição das operárias depende do balanceamento e do tipo de organização a realizar nas células. A organização das operárias pode realizar-se utilizando um dos métodos referidos na secção 7.3.3. É muito importante que as operárias entendam que a produtividade é medida no grupo e não individualmente para que assim se interajudem. Se for necessária formação, esta pode ser dada nos períodos de mais baixa produção, não interferindo assim na produção planeada.

Do ponto de vista económico é, por vezes, preferível baixas taxas de ocupação das máquinas do que o tempo inactivo dos operadores. Produzir à capacidade máxima das máquinas traz bastantes inconvenientes anteriormente discutidos neste trabalho.

8.2.3.4. Implantação Intracelular

Para o tipo de configuração escolhido, célula JIT, a implantação em U pode trazer muitas vantagens, reduz distâncias entre máquinas, fomenta o trabalho de equipa e de interajuda entre as operárias e facilita a comunicação e o manuseamento do material em fluxo unitário (peça a peça). Com este tipo de arranjo há necessidade de menos operadores que o número de máquinas pois a sua polivalência possibilita a que um operador trabalhe com mais do que uma máquina pois elas encontram-se relativamente próximas. O facto dos pontos de entrada ficarem próximos dos pontos de saída permite que uma só operária controle esses pontos.

Conseguir o fluxo produtivo sem perturbações pode ainda requerer nas máquinas alguns dispositivos especiais como corte pneumático nas máquinas de corte e cose possibilitando a maior rapidez ao executar qualquer operação, a eliminação da operação de remate, o menor desgaste da máquina e menor consumo de linha, equipamento auxiliar, como prateleiras, sistema de aviso de falta de obra do fim da linha e mesas de apoio.

8.2.3.5. Implantação Intercelular

O espaço ocupado pelas linhas no anexo I (página A-3) serve para implantar as células, mantendo na mesma o espaço da secção de acabamentos com as prensas. A replicação de algumas células também depende do espaço disponível que dá para implantar 8

células. Uma implantação possível com 7 células pode ser o apresentado no anexo XI, (página A-80).

As famílias mais procuradas durante a produção da colecção 2 são os fatos (001) e as jardineiras (015) pelo que duplicar o número das células que produzem as famílias A e B pode fazer sentido.

Uma forma de calcular a taxa requerida para a produção que vai ser a taxa à qual o produto precisa de completar-se para satisfazer o cliente é calculando o tempo de ciclo para cada célula, isto é, intervalo de tempo entre a saída consecutiva de duas peças da célula. Assim, o tempo de ciclo (TC) resulta do quociente entre o período de trabalho diário pela procura diária das peças. Exemplificando, o tempo de ciclo para a célula da família A (supondo que se sabe exactamente as quantidades a produzir para os 6 meses e que há apenas um turno de trabalho) é de: $TC = (8 \cdot 60) / (66017/120) = 0,87 \text{ min/artigo}$

isto é, um artigo em cada 52 segundos e o número de operadores pode ser calculado dividindo o tempo médio total de processamento para a família pelo tempo de ciclo ($Tp + Ta$ - tempo de prensar)/TC = $(3.47 + 1.73 - 0.08) / 0,87 = 6$ operadores.

A família C irá produzir todas as referências da família 015 (26170) e a referência 1653 da família 010 (5068) num total de 31238 durante 120 dias. O tempo de ciclo para a célula será de aproximadamente 1,8 minutos e o número de operadores 4.

Estes cálculos são apenas a título de exemplo e são uma análise grosseira porque na implementação das células seria necessário dissecar aquele valor da quantidade requerida nas diferentes referências produzidas na célula, para determinar em que períodos de tempo a célula vai produzir as diferentes referências uma vez que as suas necessidades diferem e o tempo de ciclo também, cálculo este feito todos os dias. No fundo, o problema é saber com que frequência devem os artigos serem lançados na célula passando a resolução deste pela produção de lotes pequenos sem incorrer em custos de preparação adicionais (Hay, 1988).

Como conclusão pode-se acrescentar que o tipo e o número de células varia de semana para semana consoante os requisitos de procura assim como o tempo de ciclo dentro de cada célula e consequentemente o número de operários. A flexibilidade deste tipo de células está precisamente na possibilidade de variação das taxas de produção através da reconfiguração das equipas de trabalho nas células.

8.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CASO INDUSTRIAL

O exemplo de aplicação da metodologia a um caso industrial realça a dificuldade em, de forma sistemática e invariável, aplicar a metodologia desenvolvida neste trabalho. De facto, a realidade industrial apresenta uma grande complexidade e diversidade normalmente não tratável ou equacionada a nível teórico.

A título de exemplo está a formação de células industriais que, no caso do exemplo, não aparece de forma clara. É necessário fazer muitas adaptações e ajustes até que uma solução satisfatória seja encontrada.

9. CONCLUSÕES

A importância industrial dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) é reconhecida através de variados casos de aplicação industrial destes sistemas citados por vários autores referenciados nesta dissertação. No entanto, apesar de pesquisa exaustiva realizada, não foi possível identificar na bibliografia uma metodologia suficientemente abrangente e capaz de equacionar a viabilidade, em diferentes ambientes industriais e de mercado, e orientar o projecto de SPOP a diferentes níveis, nomeadamente o genérico, conceptual e detalhado.

Neste trabalho tentou-se colmatar esta aparente lacuna, desenvolvendo uma metodologia que abrange tais níveis dividida em três fases: o projecto genérico, o projecto conceptual e o projecto detalhado.

Pode-se também perceber e concluir ser o projecto destes sistemas altamente complexo, requerendo muita informação sobre os produtos, processos e recursos da empresa e complexos mecanismos. Tal percepção resulta da clarificação tentada, mas certamente apenas parcialmente conseguida, das necessidades, processos e mecanismos de decisão em cada fase de projecto e, especificamente, em cada das suas actividades.

Pode-se ainda concluir ter-se apresentado um caminho viável e robusto para o projecto de SPOP traduzido nas três fases da metodologia e suas actividades.

Como suporte à implementação da metodologia classificaram-se os sistemas de produção e, em particular os SPOP e seus componentes, a vários níveis, nomeadamente, genérico, conceptual e detalhado. Classificaram-se, também, os ambientes de mercado e seu relacionamento com os SPOP, assim como os métodos e ferramentas de apoio ao projecto a diferentes níveis.

Teve-se o cuidado de sistematizar o conhecimento existente e dar um contributo adicional para este conhecimento, principalmente ao nível da caracterização e identificação dos ambientes industriais e de mercado mais adequados para a utilização dos SPOP.

Neste contexto com base na análise e sistematização apresentada neste trabalho poderá ser fácil demonstrar serem as configurações de SPOP e particularmente os Sistemas de Produção Celulares, capazes de atender a muitos dos requisitos das empresas actuais

como a entrega rápida e a variedade do produto. Estes requisitos, normalmente antagónicos, não são satisfeitos nem com um sistema funcional, capaz de suportar uma larga variedade de artigos, nem com uma linha de produção dedicada ao produto.

Finalmente, a aplicação da metodologia a um caso industrial demonstrou ser consistente e robusta facilitando o caminho de projecto até à identificação de famílias de artigos e especificação dos requisitos dos sistemas de produção para produzirem essas famílias.

Desenvolvimentos Futuros

Na formulação da metodologia esteve em mente configurações de SPOP conhecidas e integradas principalmente no que tradicionalmente se designa de sistemas de produção celulares ou em célula. No entanto, outras configurações mais recentes se desenharam, associados normalmente aos conceitos de sistemas distribuídos e empresas virtuais, que deverão merecer a atenção de futuros desenvolvimentos ou adaptações desta metodologia. A integração de ideias de outros autores, no sentido de enriquecer a metodologia e, principalmente, criar uma base de conhecimento de métodos e ferramentas de apoio, deverá também ser explorada.

Essa exploração deverá estender-se à formalização da metodologia num sistema de apoio à decisão.

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, M. S. G. M. (1994) "Reorganização de uma confecção segundo o modelo Toyota Sewn System" relatório de estágio, Lic. Eng. Produção – Ramo Têxtil
- Aneke, N. A. G. e Carrie, A. S. (1986) "A design technique for the layout of multi-product flowlines" *International Journal of Production Research*, vol. 24, 471-481
- Ang, C. L., Luo, M., Khoo, L. P. e Gay, R. K. L. (1997) "A knowledge-based approach to the generation of IDEF₀ models" *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 5, 1385-1412
- Arvinth, B. e Irani, S. A. (1994) "Cell formation: the need for an integrated solution of the problems" *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.º 5
- Avison, D. E. e Fitzgerald, G. (1995) "Information Systems Development: methodologies, techniques and tools" 2ª edição, McGraw-Hill
- Bauer, A., Bowden, R., Browne, J., Duggan, J. e Lyons, G. (1994) "Shop Floor Control systems: from design to implementation" Chapman & Hall
- Black, J. T. (1983) "Cellular Manufacturing Systems reduce setup time, make small lot production economical" *Cellular Manufacturing & Group Technology*, IE, 36
- Black, J. T. (1991) "The Design of the Factory with a future" McGraw Hill
- Black, J. T. e Chen, J. C. (1995) "The role of decouplers in JIT pull apparel cells" *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 7, n.º 1
- Black, J. T. e Schroer, B. J. (1988) "Decouplers in Integrated Cellular Manufacturing Systems" *Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME*, vol. 110
- Black, J. T. e Schroer, B. J. (1994) "Simulation of an Apparel Assembly Cell with walking workers and decouplers" *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 12, n.º 2
- Burbidge, J. L. (1973) "Production Flow Analysis on the Computer" Third Annual Conf. of the Institution of Production Engineers, Nov. 1973, Sheffield
- Burbidge, J. L. (1992) "Change to GT: process organization is obsolete" *International Journal of Production Research*, vol. 30, 1209-1219
- Burbidge, J. L. (1993) "Group Technology (GT): Where do we go from here?" *Advances in Production Management System*, Ed. I. A. Pappas e I. P. Tatsiopoulos, North - Holland, IFIP
- Burbidge, J. L. (1996) "Production Flow Analysis for planning Group Technology" 1ª publicação 1989, Clarendon Press, Oxford
- Burgess, A. G., Morgan, I. e Vollmann, T. E. (1993) "Cellular manufacturing: its impact on the total factory" *International Journal of Production Research*, vol. 31, n.º 9, 2059-2077
- Canada, J. R., Sullivan, W. G. (1989) "Economic and multiattribute evaluation of Advanced Manufacturing Systems", Prentice-Hall
- Cantamessa, M. e Turrone, A. (1997) "A pragmatic approach to machine and part grouping in cellular manufacturing system design" *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 4, 1031-1050

- Cardoso, Luís (1998) "Gestão Estratégica das Organizações: ao encontro do 3º milénio" Editorial Verbo, IAPMEI
- Chan, F. T. S. e Abhary, K. (1996) "Design and evaluation of automated cellular manufacturing systems with simulation modelling and AHP approach: a case study" Integrated Manufacturing Systems, MCB University Press, 7/6, 39-52
- Chan, H. M. e Milner, D. A. (1982) "Direct Clustering Algorithm for Group Formation in Cellular Manufacture" Journal of Manufacturing Systems, vol. 1, nº 1
- Chatterjee, S. (1992) "Resourcing in dynamic manufacturing" Concurrent Engineering ASME 1992, vol. 59
- Cheng, C. H., Lee, W. H. e Miltenburg (1998) "A Bi-Cromosome Genetic Algorithm for minimizing intercell and intracell moves" Group Technology and Cellular manufacturing Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Cheng, T. C. E. e Podolsky, S. (1996) "Just -in - Time Manufacturing - An introduction" 2ª edição, Chapman & Hall
- Choobineh, F. (1988) "A framework for the design of cellular manufacturing systems" International Journal of Production Research, vol. 26, nº 7, 1161-1172
- Chow, W. S. e Hawaleshka, O. (1993) "Minimizing intercellular part movements in manufacturing cell formation" International Journal of Production Research vol. 31, nº 9, 2161-2170
- Chu, C. H. (1995) "Recent Advances in Mathematical Programming for Cell Formation" Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier
- Co, H. C. e Araar, A. (1988) "Configuring cellular manufacturing" International Journal of Production Research, vol. 26, nº 9, 1511-1522
- Colquhoun, G. J., Baines, R. W. (1991) "A generic IDEF0 model of process planning" International Journal of Production Research, vol. 29, nº 11, 2239-2257
- Colquhoun, G. J., Baines, R. W. e Crossley, R. (1993) "A state of the art review of IDEF0" International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 6, nº 4
- Comissão Europeia (1996) "Livro Verde sobre a Inovação" Suplemento 5/95 ao Boletim da União Europeia, Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias,
- Courtois, A., Pillet, M. e Martin, C. (1996) "Gestão da Produção" 4ª edição, Lidel Edições Técnicas
- Dagli, C. H. e Huggahalli, R. (1993) "A neural network approach to Group Technology" em "Neural Networks in Design and Manufacturing", Eds. Wang, J. e Takefuji, Y. World Scientific
- De Meyer, A. e Wittenberg-Cox, A. (1992) "Acrescentar Valor aos produtos" Edições CETOP
- Del Valle, A. G., Balarezo, S. e Tejero, J. (1994) "A heuristic workload-based model to form cells by minimizing intercellular movements" International Journal of Production Research., vol. 32, nº 10, 2275-2285

- Dias, José Manuel Ventura (1998) "Formação profissional de activos" Formar – revista dos formadores, Instituto do Emprego e Formação Profissional, Out./Dez.
- Doumeings, G., Panayiotou, N., Rinn, A., Tatsiopoulos, I., Villenave, C. e Zülch, G. (1999) "A methodology for re-engineering and information technology implementation", European Series in Industrial Management, Ed. Gert Zülch Shaker Verlag
- Doyle, P. (1995) "Marketing in the New Millennium" European Journal of Marketing, vol. 29, nº 13
- Drolet, J. R. e Moodie, C. L. (1990) "A virtual cell scheduling algorithm" Material Handling'90
- Drolet, J. R., Montreuil, B. e Moodie, C. L. (1996) "Empirical investigation of virtual cellular manufacturing system" SIE'96
- Elwany, M. H., Khairy, A. B., Abou-Ali, M. G. e Harraz, N. A. (1997) "A combined multicriteria approach for Cellular Manufacturing Layout" Annals of the CIRP, vol. 46, nº 1
- FIPSPUB 183 (1993) "Software Standard, Modeling Techniques – Announcing the Standard for Integration Definition For Function Modeling (IDEF0)" Federal Information Processing Standards Publications (FIPS PUBS)
- Forza, C. e Vinelli, A. (1996) "An analytical scheme for the change of the apparel design process towards quick response" International Journal of Clothing Science and Technology, MCB University Press, vol. 8 nº 4, pp. 28-43
- Forza, C. e Vinelli, A. (1997) "Quick Response in the textile-apparel industry and the support of information technologies" Integrated Manufacturing Systems, MCB University Press, vol. 8 nº 3, pp. 125-136
- French, S. (1982) "Sequencing and Scheduling – An introduction to the mathematics of the job-shop" Ellis Horwood Ltd.
- Gallagher, C. C. e Knight, W. A. (1973) "Group Technology" Butterworths
- Ghosh, S. e Gagnon, R. J. (1989) "A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems" International Journal of Production Research, vol. 27, nº 4, 637-670
- Gibson, P., Greenhalgh, G. e Kerr, R. (1995) "Manufacturing Management – principles and concepts" Chapman & Hall
- Goldberg, D. E. (1989) "Genetic algorithms in Search, Optimization and Machine Learning" Addison-Wesley, Reading, MA
- Groff, G. K. e St. John, C. H. (1990) "Fundamentals for developing manufacturing strategy" Strategic Management: Methods and studies, Eds. B. V. Dean e J. C. Cassidy, Elsevier Science Publishers B. V. (North – Holland)
- Groover, M.P. (1980) "Automation, Production Systems and Computer Aided Manufacturing" Prentice-Hall, Inc, N.J.
- Hammer, M. (1990) "Reengineering work: don't automate, obliterate", Harvard Business Review, Julho – Agosto

- Harrison, F. (1996) "The selection of Planning and Scheduling Software for V, A, T & I Plants", Make Common Sense a Common Practice, Constraints Management Symposium and Technical Exhibit, APICS
- Harvey, N. (1994) "Socio technical organization of cell manufacturing and production islands in the metal manufacturing industry in Germany and the USA" *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.º 11, 2669-2681
- Hay, E. J. (1988) "The Just - in - Time Breakthrough - implementing the new manufacturing basics" John Wiley & Sons
- Heragu, S. S. e Gupta, Y. P. (1994) "A heuristic for designing cellular manufacturing facilities" *International Journal of Production Research*, vol. 32, n.º 1, 125-140
- Higgins, P., Le Roy, P. e Tierney, L. (1996) "Manufacturing Planning and Control – Beyond MRPII" Chapman & Hall
- Ho, Y-C., Lee, C-E. e Moodie, C. L. (1993) "Two sequence pattern, matching-based, flow analysis methods for multi-flowlines layout design" *International Journal of Production Research*, vol.31, 1557-1578
- Ho, Ying-Chin e Moodie, C. L. (1994) "A heuristic operation sequence –pattern identification method and its applications in the design of a cellular flexible assembly system" *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 7, n.º 3
- Holland, J. (1992) "Genetic Algorithms" *Scientific American*, July, 66-72
- Irani, S. A., Cohen, P. H. e Cavalier, T. M. (1992) "Design of Cellular Manufacturing Systems" *Transactions of the ASME*, vol. 114
- Irani, S. A., Cohen, P. H. e Cavalier, T. M. (1993) "Virtual manufacturing cells: exploiting layout design and intercell flows for the machine sharing problem" *International Journal of Production Research*, vol. 31
- Johnson, T. W. e Manoochehri, G. H. (1990) "Adopting JIT: implications for Worker roles and Human Resource Management" *Industrial Management*, Jan/Fev. 1990
- Joines, J. A., King, R. E. e Culbreth, C. T. (1998) "Cell formation using Genetic Algorithms" *Group Technology and Cellular manufacturing*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Kaebernick, M. e Bazargan-Lari, M. (1996) "An integrated approach to the Design of Cellular Manufacturing" *Annals of the CIRP*, vol. 45, n.º 1
- Kalta, M., Lowe, T. e Tyler, D. (1998) "A Decision Support System for designing assembly cells in Apparel Industry" *Group Technology and Cellular manufacturing*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Kamrani, A. K., Parsaei, H. R. e Leep, H. R. (1995) "A simulation approach for cellular manufacturing system design and analysis" *Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier Science
- Kamrani, A. K., Parsaei, H. R. e Liles, D. H. (1995) "Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems" Elsevier Science
- Kaparthi, S. e Suresh, N. C. (1992) "Machine-component cell formation in group technology" *International Journal of Production Research*, vol. 30, n.º 6

- Kidd, P. T. (1994) "Agile Manufacturing forging new frontiers" Addison Wesley
- Kim, S. H. (1990) "Designing intelligence – a framework for smart systems" Oxford University Press
- King, J. R. (1979) "Machine-Component group formation in Group Technology" Fifth International Conference on Production Research
- King, J. R. e Nakornchai, V. (1982) "Machine-Component group formation in Group Technology: review and extension" International Journal of Production Research, vol. 20, n° 2
- Knight, W. A. (1998) "Group Technology, Concurrent Engineering and Design for manufacture and assenbly" Group Technology and Cellular manufacturing, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Kolli, S., Parsaei, H. e Liles, D. H. (1994) "Economic justification", Organization and Management of Advanced Manufacturing, Eds. Waldemar Karwowski e Gavriel Salvendy
- Kusiak, A. (1988) "EXGT-S: a knowledge based system for Group Technology" Manufacturing Cells – A systems Engineering view, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis, 1995
- Kusiak, A. e Chow, W. S. (1988) "Decomposition of Manufacturing Systems" IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 4, n.º 5, Outubro de 1988
- Langevin, A., Montreuil, B. e Riopel, D. (1994) "Spine layout design" International Journal of Production Research, vol.32, 429-442
- Massay, L. L., Benjamin C. O. e Omurtag, Y. (1995) "Cellular manufacturing System Design: a holistic approach" Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems, Eds. A. K. Kamrani, H. R. Parsaei e D. H. Liles, Elsevier
- May, N. P. (1994) "Quick Response Systems" Conference Proceedings, American Production & Inventory Control Society, 1994
- McAuley J. (1972) "Machine grouping for efficient production" The Production Engineer 51 (2)
- McLean, C. R., Brown, P. F. (1987) "The Automated Manufacturing Research Facility at the Nacional Bureau of Standards" New Tecnhnolgies for Production Management systems, Ed. H. Yoshikawa e J. L. Burbidge, Elsevier Science Publishers B. V. North - Holland
- Meredith, J. R. (1992) "The Management of operations – a conceptual emphasis" 4ª edição, John Wiley & Sons
- Meta Software, (1996) "Design/IDEF Interfaces Language Manual" versão 3.7, USA
- Meta Software, (1996) "Design/IDEF Tutorial for Microsoft Windows" versão 3.7, USA
- Meta Software, (1996) "Design/IDEF User's Manual for Microsoft Windows" versão 3.7, USA
- Mitrofanov, S. P. (1959) "The Scientific Principles of Group Technology" Leningrad 1959 translated by the National Lending Library 1966

- Monden, Y. (1983) "Toyota Production System" Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers
- Moodie, Colin, Uzsoy, Reha e Yih, Yuehwern (1995) "Manufacturing Cells – A systems Engineering view" Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis
- Moon, Y. B. (1993) "Neuro-clustering for Group Techonology" Neural Networks in Design and Manufacturing, Eds. Wang, J. e Takefuji, Y. World Scientific
- Muther, Richard (1973) "Planejamento de layout: sistema SLP" editora Edgard Blücher Ltda.
- Nasr, N. e Dodson, S. (1992) "A generic welding cell justification and planning process" Economic and Financial Justification of Advanced Manufacturing Technologies, H. R. Parsaei et al. (editores), Elsevier Science Publishers
- Noori, H. e Radford, R. (1995) "Production and Operations Management – Total Quality and Responsiveness" McGraw – Hill, Inc
- Nunes, Eusébio M. P. (1996) "Gestão de recursos numa linha de montagem" Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Janeiro de 1996
- Nyman, L.R. (1992) "Making Manufacturing Cells Work" Ingersoll Engineers, Society of Manufacturing Engineers e Computer and Automated Systems Association of SME
- Oden, H. (1994) "The demand response strategy: the neglected manufacturing strategy" Conference proceedings, American Production & Inventory Control Society, 208-212
- Offodile, O. F., Mehrez, A e Grznar, J. (1992) "Cellular Manufacturing: a taxonomic review framework" Journal of Manufacturing Systems, vol. 13, n.º 3
- Olson, D. L. (1996) "Decision Aids for Selection Problems" Springer - Verlag
- Opitz, H. (1970) "A Classification System to describe workpieces" Pergamon Press Ltd., Oxford
- Panizzolo, R. (1998) "Cellular manufacturing at Zanussi-Electrolux plant, Susegana, Italy" Group Technology and Cellular manufacturing, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Park, Y. H., Park, E. H. e Ntuen, C. A. (1990) "An Economic Model for Cellular Manufacturing Systems" Justification Methods for Computer Integrated Manufacturing Systems, Ed. H. R. Parsaei, T. L. Ward e W. Karwowski, Elsevier Science Publishers
- Peach, R. W. (1992) "The ISO 9000 Handbook", CEEM Information Services
- Phillips, E. J. (1997) "Manufacturing Plant Layout" Society of Manufacturing Engineers
- Porter, M. (1980) "Competitive Strategy" The Free Press
- Porter, M. (1985) "Competitive Advantage" The Free Press
- Productivity Press Development Team (1998) "Just – in –Time for Operators" Shop-floor Series

- Rajagopalan, R. e Batra, J. L. (1975) "Design of cellular production systems: a Graph-theoretic approach" *International Journal of Production Research*, vol. 13
- Reece Corporation (1990) "World Class Manufacturing for the sewn products industry - TSS" Flexible Sewing Systems Group
- Reis, L. M. S. (1994) "Planeamento e Controlo da Produção em Células de Confeção" Relatório de estágio da Lic. Eng. Produção – Ramo Têxtil
- Rembold, U., Blume, C. e Dillman, R. (1985) "Computer Integrated Manufacturing Technology and Systems" Marcel Dekker
- Ribeiro, J. F. F. e Pradin, B. (1993) "A methodology for cellular manufacturing design" *International Journal of Production Research*, vol. 31, n.º 1, 235-250
- Ribeiro, M. F. O. P. (1998) "Estudo comparativo de diferentes abordagens ao Controlo da Produção fabril" Dissertação do mestrado em Produção Integrada por Computador
- Robert, M. e Cordeiro, R. (1995) "Estratégia de Inovação de Produtos Pura e Simples" Difusão Cultural
- Ross, D. T. (1977) "Strutured Analysis (SA): A language for communicating ideas" *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. SE-3, n.º 1
- Sagi, S. R. e Chen, F. F. (1995) "A framework for intelligent design of manufacturing cells" *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 6, 175-190
- Sarkis, J. e Lin, L. (1994) "An IDEF₀ functional planning model for the strategic implementation of CIM systems" *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 7, n.º 2, 100-115
- Schonberger, R. (1983) "Plant Layout becomes product oriented with Cellular, Just-In-Time production concepts" *Industrial Engineering*
- Schonberger, R. J. (1998) "Microsoft Ireland: realigning plant, sales, key suppliers by customer family" *Group Technology and Cellular manufacturing*, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Seifoddini, H. e Djassemi, M. (1997) "Determination of a flexibility range for cellular manufacturing systems under product mix variations" *International Journal of Production Research*, vol. 35, n.º 12, 3349-3366
- Sekine, K. (1990) "One – Piece Flow: Cell design for transforming the production process" Productivity Press
- Shafer, S. M. (1998) "Part machine labour grouping: the problem and solution methods" Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, *Group Technology & Cellular Manufacturing: updated perspectives* Kluwer Academic Publishers
- Silva, S. C. (1988) "An Investigation into tooling requirements and strategies for FMS operation" PhD Thesis. LUT, UK
- Silva, S. C. (1997a) "Textos e elementos de apoio à disciplina de Organização e Gestão da Produção I" Licenciatura em Engenharia de Produção, Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho
- Silva, S. C. (1997b) "Textos e elementos de apoio à disciplina de Organização e Gestão da Produção II" Licenciatura em Engenharia de Produção, Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho

- Silva, S. C. e Alves, A. C. (1997) "Diferentes perspectivas dos Sistemas de Produção Orientados ao Produto" 1º Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial, Lisboa
- Simcsik, T. (1993) "O.M.I.S. – Organização e Métodos" Makron Books, McGraw-Hill
- Singh, N. e Rajamani, D. (1996) "Cellular Manufacturing Systems: Design, Planning and Control" Chapman & Hall
- Singh, V. e Weston, R. H. (1996) "Life cycle support of manufacturing systems based on an integration of tools" International Journal of Production Research, vol. 34, n.º 1, 1-17
- Skinner, W. (1969) "Manufacturing – missing link in corporate strategy" Harvard Business Review, Maio – Junho, 136-145
- Skinner, W. (1974) "The focused factory" Harvard Business Review, Maio – Junho, 113-121
- Slomp, J. (1998) "Design of Manufacturing Cells: PFA applications in Dutch Industry" Group Technology and Cellular manufacturing, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Slomp, J., Molleman, E. e Goalman, G. J. C. (1993) "Production and operations management aspects of cellular manufacturing - a survey of users" Advances in Production Management System, Ed. I. A. Pappas e I. P. Tatsiopoulos, North - Holland, IFIP
- Song, S. e Hitomi, K. (1992) "GT cell formation for minimizing the intercell parts flow" International Journal of Production Research, vol. 30
- Suresh, N. C. (1998) "Evaluation of functional and cellular layouts through simulation and analytical models" Group Technology and Cellular manufacturing, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Suresh, N. C. e Kaparthi, S. (1994) "Performance of Fuzzy ART neural network for group technology cell formation" International Journal of Production Research, vol. 32, n.º 7
- Suresh, Nallan C. e Kay, John M. (1998) "Group Technology & Cellular Manufacturing: updated perspectives" Kluwer Academic Publishers
- Suri, Rajan (1998) "Quick Response Manufacturing: a companywide approach to reducing Lead Times" Productivity Press
- Tatikonda, V. M. e Wemmerlöv, U. (1992) "Adoption and implementation of Group Technology classification and coding systems: insights from seven case studies" International Journal of Production Research, vol. 30, n.º 9 2087-2110
- Teicholz, E. e Orr, J. N., (1987) "Computer Integrated Manufacturing Handbook" McGraw - Hill
- Tompkins, J. A. e Moore, J. M. (1978) "Computer Aided Layout: a user's guide" American Institute of Industrial Engineers
- Vakharia, A. J. e Wemmerlöv, U. (1990) "Designing a Cellular Manufacturing System: a materials flow approach based on operation sequences" IIE Transactions, vol. 22, n.º 1 Março de 1990
- Valente, R. P. (1994) "Tecnologia de Grupo" Dirigir, Maio/Junho

- Valle, C. E. (1975) “Implantações Industriais” Livros Técnicos e Científicos, Editora S. A.
- Varela, M. L. R. (1999) “Seleção automática de Métodos de Escalonamento da Produção” Dissertação de Mestrado em Produção Integrada por Computador
- Venugopal, V. (1998) “Artificial neural networks and fuzzy models: new tools for part-machine grouping” Group Technology & Cellular Manufacturing: updated perspectives, Eds. Suresh, Nallan C. e Kay, John M., Kluwer Academic Publishers
- Viswanadham, N., Narahari, Y. e Raghavan, N.R.S. (1998) “Design / Analysis of Manufacturing Systems: a Business Process approach”, Group Technology and Cellular manufacturing, Eds. Nallan C. Suresh e John M. Kay, Kluwer Academic Publishers
- Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C. (1992) “Manufacturing Planning and Control Systems” 3ª edição, Irwin/McGraw-Hill
- Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C. (1997) “Manufacturing Planning and Control Systems” 4ª edição, Irwin/McGraw-Hill
- Wang, H. P. e Li, J. K. (1991) “Computer Aided Process Planning” Elsevier
- Wang, J. e Takefuji, Y. (1993) “Neural Networks in Design and Manufacturing” World Scientific
- Wemmerlöv, U. e Hyer, N. L. (1989) “Cellular Manufacturing in the U. S. Industry: a survey of users” Manufacturing Cells – A systems Engineering view, Eds. Colin Moodie, Reha Uzsoy e Yuehwern Yih, Taylor & Francis,
- Wemmerlöv, U. e Johnson, D. J. (1997) “Cellular Manufacturing at 46 user plants: implementation experiences and performances improvements” International Journal of Production Research, vol.35, nº 1, 29-49
- Wu, B. (1994) “Manufacturing Systems Design and Analysis” Chapman & Hall, 2ª edição
- Zgorzelski, M. e Zeno, P. (1997) “Flowcharts, data flows, SADT, IDEF and NIAM for enterprise engineering” Modelling techniques for business re-engineering and benchmarking, IFIP TC5 WG5.7 International workshop, Eds. Guy Doumeingts e Jim Browne

ANEXOS

Anexo I	Implantação inicial	A-2
Anexo II	Listagem semanal das encomendas	A-4
Anexo III	Listagem detalhada dos constituintes de um fato de bebé	A-6
Anexo IV	Máquinas existentes na confecção	A-8
Anexo V	Quadro das operárias da confecção	A-12
Anexo VI	Gráficos de absentismo	A-16
Anexo VII	Mapa de operações e fluxogramas do modelo	A-18
Anexo VIII	Análises ABC por quantidade e valor	A-61
Anexo IX	Requisições de materiais ao armazém	A-76
Anexo X	Cálculo das necessidades de capacidade	A-78
Anexo XI	Nova implantação	A-80